



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**

**Escola Politècnica Superior d'Enginyeria  
de Manresa**



**MÁSTER EN INGENIERÍA  
DE LOS RECURSOS NATURALES  
TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD  
EN BOLIVIA A PARTIR DE IMÁGENES  
SATELITALES NOCTURNAS**

Estudiante: Claudia G. Luizaga Velasco

Director: Dr. Joan Jorge Sánchez

Co-director: Dr. Marc Vallbé Mumbrú

Convocatoria: Julio 2018

## **DEDICATORIA**

Son muchas las personas a las que debo reconocer y agradecer su contribución y apoyo, algunos quizá no recuerden su participación, otros no tendrán ni conciencia de su apoyo, pero los recuerdo y agradezco.

Una investigación se genera a partir del esfuerzo, dedicación e ideas previas que corresponden a otras personas y que nos permiten continuar o elaborar la investigación. Gracias por su amabilidad, tiempo e ideas, orientación y atención a mis consultas, por lo que agradezco a los directores de este trabajo de investigación, al Dr. Joan Jorge Sánchez y al Dr. Marc Vallbé Mumbrú, por la dedicación y guía que han brindado durante este tiempo, por la comprensión y respeto a mis ideas y por la dirección que han facilitado. Gracias por el apoyo ofrecido desde que los conocí.

Un trabajo de investigación es también el resultado del reconocimiento y apoyo imprescindible de las personas que nos estiman y que nos lo ofrecen sin pedir nada a cambio, sin el cual no tendríamos la energía y fuerza que nos impulsa a crecer y superarnos personal y profesionalmente. Por lo que doy gracias a mi familia, a mis padres y hermanos, que son los pilares con los que me sostengo en los momentos difíciles y la fuente de mis alegrías. Gracias a su presencia y a los gratos recuerdos que tengo de ellos es que sigo adelante.

De la misma forma quiero agradecer a mis compañeros y amigos que me han acompañado y apoyado de forma personal y humana, que me prestaron un apoyo moral y humano, a aquellos que ya conocía y a los que conocí, con los que compartí proyectos, recuerdos e ilusiones.

Sin el apoyo de la gente que estuvo acompañándome este trabajo no se hubiera podido realizar, por lo que este trabajo es también suyo. Y por todo esto muchas gracias a todos.

## **Resumen**

Hoy en día la utilidad de las imágenes satelitales se ha incrementado, debido a la mejora y continúa de satélites y sensores, así como el almacenamiento y la distribución de los datos que se recolectan.

Debido a que las imágenes satelitales son una gran fuente de información se utilizan las mismas para analizar los factores sociales, económicos y ambientales de Bolivia, esta es una manera de analizar la sostenibilidad. Las imágenes satelitales nocturnas que se obtuvieron con el sensor VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), que generalmente se utilizan para medir temperatura en la superficie terrestre y marítima, medición de propiedades de aerosoles, movimiento de hielo, incendio, entre otros, en este caso se utilizan para analizar la distribución de la población correlacionándolo con el consumo energético, la degradación ambiental y contaminación por emisiones de CO<sub>2</sub>, y aspectos sociales que se obtiene a partir de fuentes de información secundaria.

**Palabras clave:** Imágenes satelitales, nocturnas, sostenibilidad, VIIRS, Bolivia, consumo energético, CO<sub>2</sub>.

## **Abstract**

Today the usefulness of satellite images has increased due to the continuous improvement and satellites and sensors, as well as storage and distribution of the data collected.

Because satellite images are a great source of information they are used to analyze the social, economic and environmental factors of Bolivia, this is a way to analyze sustainability. The night satellite images that were obtained with the VIIRS sensor (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), which are generally used to measure temperature on the land and sea surface, measurement of aerosol properties, movement of ice, fire, among others, in this In this case, they are used to analyze the distribution of the population, correlating it with energy consumption, environmental degradation and pollution by CO<sub>2</sub> emissions, and social aspects that are obtained from secondary information sources.

**Keywords:** Night satellite images, sustainability, VIIRS, Bolivia, energy consumption, CO<sub>2</sub>.

## Índice

Preámbulo .....	1
1. Introducción .....	2
2.2. Objetivos .....	8
2.2.1. General .....	8
2.2.2. Objetivos Específicos .....	9
3. Marco geográfico, socio-económico y ambiental.....	9
3.1. Marco geográfico .....	9
3.1.1. Orografía .....	9
3.1.2. Hidrología.....	10
3.1.3. Clima .....	12
3.1.4. Fisiografía.....	13
3.1.5. Áreas protegidas .....	14
3.1.6. Biodiversidad .....	16
3.2. Marco socio-económico.....	18
3.2.1. Distribución de la población .....	18
3.2.2. Producción energética .....	20
3.3. Indicadores de Sostenibilidad en Bolivia.....	22
3.3.1. Indicador económico: Consumo energético .....	22
3.3.2. Indicador social: Distribución de la pobreza.....	23
3.3.3. Indicador ambiental: Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	23
3.3.4. Indicador gobernanza: Legislación .....	23
3.4. Iluminación nocturna artificial.....	24
3.5. Teledetección: sensores nocturnos.....	26
3.5.1. DMSP/OLS vs VIIRS/DNB .....	26
3.5.2. Fuente de datos.....	29
4. Metodología y datos .....	31
4.1. Área de estudio .....	31
4.2. Datos socio-económicos y ambientales .....	31
4.3. Imágenes satelitales nocturnas.....	36
5. Resultados.....	37
5.1. Resultados del manejo de las imágenes satelitales .....	37
5.2. Resultados del manejo de la información socio-económica y ambiental .....	41

6. Conclusiones.....	47
7. Bibliografía.....	49
8. Anexos .....	55
Anexo I. Indicadores de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio.....	56
Objetivo 1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre.....	56
Objetivo 2. Lograr la enseñanza primaria universal .....	56
Objetivo 3. Promover la equidad de género y la autonomía de la mujer .....	56
Objetivo 4. Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años .....	56
Objetivo 5. Mejorar la salud materna.....	56
Objetivo 6. Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades.....	57
Objetivo 7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente .....	57
Objetivo 8. Fomentar una alianza mundial para el desarrollo.....	57
Anexo II Necesidades básicas insatisfechas (NBI).....	58
Anexo III Línea de pobreza .....	59
Anexo III Actividad económica.....	60
Anexo IV Población pobre a nivel municipal.....	61
Anexo V Correlaciones de los datos de iluminación con la información de Bolivia .....	69
Anexo VI Glosario de indicadores.....	79
Índice de pobreza humana.....	79
Índice de carga económica .....	79
Índice de dependencia económica.....	79
Índice de Desempeño Ambiental .....	80
Índice de Desarrollo Humano .....	81
Necesidades básicas insatisfechas .....	81
Línea de pobreza e incidencia de pobreza.....	82
Participación en el PIB .....	82
Biota .....	82
Residuos .....	82
Eventos adversos de origen natural.....	82
Tierra y suelo.....	82

## Índice de figuras

Figura 1. Situación geográfica de Bolivia.....	10
Figura 2. Mapa fisiográfico.....	14
Figura 3. Áreas protegidas de Bolivia.....	15
Figura 4. Mapa de bosques de Bolivia.....	17
Figura 5. Distribución de poblados en Bolivia.....	20
Figura 6. Red eléctrica de Bolivia.....	21
Figura 7. Participación porcentual del departamento de Cochabamba en la generación total de energía eléctrica en Bolivia el año 2015.....	21
Figura 8. Mapa de iluminación filtrada.....	22
Figura 9. Espectro de lámparas LED, de alta presión de sodio (HPS) y VIIRS/DNB.....	27
Figura 10. Imágenes visibles compuestas y libres de nubes para días sin iluminación lunar de Oahu (Hawai, USA) correspondientes a los sensores VIIRS/DNB versus DMSP/OLS.....	28
Figura 11. Escenas nocturnas del sensor VIIRS/DNB que son de acceso libre.....	30
Figura 12. Mosaico de imágenes nocturnas y límite nacional de Bolivia.....	31
Figura 13. Departamentos y países limítrofes de Bolivia.....	32
Figura 14. Porcentajes de pobreza a nivel de municipio.....	34
Figura 15. Imagen satelital del sensor VIIRS/DNB de julio de 2012 de Bolivia antes de ser filtrado el ruido.....	38
Figura 16. Mapa filtrado de iluminación de Bolivia, 2012. ....	39
Figura 17. Iluminación nocturna media en los departamentos de Bolivia en julio de 2012.....	40
Figura 18. Provincias del departamento de Cochabamba.....	43
Figura 19. Mapas de iluminación por provincias de Cochabamba.....	45
Figura 20. Gráfica de correlación de Cochabamba.....	46
Figura 21. Relación entre pobreza e iluminación en los municipios del departamento Beni.....	46

## Índice de tablas

Tabla 1. Objetivos del Milenio y metas establecidas para cada uno de ellos.....	4
Tabla 2. Objetivos del Desarrollo Sostenible.....	6
Tabla 3. Ríos por cuenca hidrográfica.....	11
Tabla 4. Extensión de Lagos y Salares.....	12
Tabla 5. Características de las Áreas protegidas.....	16
Tabla 6. Datos de la población de Bolivia INE, 2012.....	19
Tabla 7. Comparativa entre DMSP-OLS y Suomi NPP-VIIRS.....	27
Tabla 8. Información de indicadores de sostenibilidad básicos de Bolivia.....	33
Tabla 9. Datos sobre la pobreza en Bolivia.....	33
Tabla 10. Datos relacionados con la educación.....	35
Tabla 11. Datos económicos.....	35
Tabla 12. Datos de necesidades básicas insatisfechas.....	36
Tabla 13. Estadísticas de píxeles de iluminación.....	41
Tabla 14. Correlación entre los diversos indicadores utilizados.....	42



## ABREVIATURAS

<b>DNB</b>	Day/Nigth Band
<b>DMSP</b>	Defense Meteorological Satellite Program
<b>EOG</b>	Earth Observation Group
<b>EPI</b>	Environmental Performance Index
<b>FGT0</b>	Foster Greer Thorbecke
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>MMAyA</b>	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
<b>NGDC</b>	National Geographical Data Center
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>ODM</b>	Objetivos del Desarrollo Sostenible
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>PNEA</b>	Población no económicamente activa
<b>PEA</b>	Población económicamente activa
<b>PNUD</b>	Plan de las naciones Unidas para el Desarrollo
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>SERNAP</b>	Servicio de Nacional de Áreas Protegidas
<b>SNAP</b>	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
<b>Suami NPP</b>	Suomi National Polar-orbiting Partnership
<b>Udape</b>	Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas
<b>VIIRS</b>	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

## Preámbulo

El tema del presente trabajo, la sostenibilidad analizada mediante imágenes nocturnas de satélite, surgió en clase cuando el profesor de la asignatura de teledetección enseñó un conjunto de imágenes con las luces nocturnas que pueden distinguirse desde el espacio sobre la superficie de nuestro planeta. Como ejemplo de la información ambiental que había en las imágenes, nos llamaron la atención aspectos como los barcos de pesca alrededor de Japón, los pozos de petróleo y gas natural en medio del Golfo Pérsico, y la concentración urbana a lo largo de la costa, entre otros. Ahora bien, de todos éstos, hubo otro detalle que fue determinante para fijar el tema de este estudio, la oscuridad de Corea del Norte y, aunque no tan severa, la oscuridad de Bolivia (mi país) frente a la mayor iluminación de Ecuador (país de una compañera de clase).

La literatura sobre estudios realizados con imágenes nocturnas es escasa, a parte del Atlas mundial de iluminación nocturna, sólo encontramos algún documento sobre la distribución de la pobreza, sobre los hipotéticos consumos energéticos debidos a la iluminación urbana y/o sobre las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>. Pensando en los aspectos que contemplan los recientes estudios sobre sostenibilidad, es decir, contemplando la visión socio-económica y la ambiental conjuntamente, agrupamos aquellas aplicaciones bajo un mismo paraguas, y tratamos de detectar con qué indicadores de sostenibilidad tiene una relación más o menos directa la iluminación nocturna en Bolivia en el 2012.

Se pueden encontrar correlaciones diferentes, pero sólo concluiremos con aquellos indicadores que tienen una relación de causalidad con la iluminación nocturna.

## 1. Introducción

Los seres humanos por naturaleza van modificando su entorno de diversas maneras; ello depende de las costumbres, localización, recursos naturales de los que disponen, así como las condiciones ambientales que lo rodean, todo a fin de mejorar su forma de vida. Existen zonas en las que el cambio supone una fuerte transformación, y otras que mantienen su estado intacto o casi intacto (áreas protegidas, parques naturales y reservas nacionales), debido a la interacción que tienen con el entorno, con el número de habitantes en la zona y las necesidades básicas que tiene la población.

Las principales actividades económicas que se realizan a nivel general en Bolivia son: la explotación de gas natural considerada como la segunda más importante en América del sur, pero ésta no llega al 1% de la reserva mundial; el sector agroindustrial que tiene un impacto importante por la tecnificación y optimización de la producción ganadera, soya, azúcar y arroz; y por último, pero no menos importante, el turismo en todo el país que favorece la economía (Charry, 2017). La gran mayoría de las actividades genera crecimiento en cuanto a lo que se refiere a la economía en general, y a la mejora social de la población; pero si éstas no se realizan de forma adecuada y con los debidos cuidados, también se pueden producir daños en el ambiente y en la misma población.

La revolución del Big Data presenta una oportunidad sin precedentes para diseñar, hacer un seguimiento y evaluar decisiones políticas y aconsejar a éstas en qué dirección deben llevarse a cabo los esfuerzos humanitarios (Varshney et al. 2015, citado por Xie et al., 2016)). Ahora bien, mientras que en los países ricos están inundados de datos, los países en desarrollo tienen una sequía de ellos. Por ejemplo, en muchos de estos países no se llevan a cabo censos de población en décadas, ya que una encuesta a nivel nacional es costosa, en tiempo y dinero.

La teledetección, especialmente a partir de imágenes de satélite, es quizás la tecnología que mejor permite obtener datos a escala global de forma económica. Sin embargo, los datos registrados no permiten conocer más que de forma indirecta, relacional, datos socio-económicos como para elaborar mapas de distribución de la pobreza. Un ejemplo de este tipo de aplicación es el uso de las imágenes nocturnas en donde la intensidad de luz puede ser utilizada como indicador de actividad económica.

## 1.1. Los países y el desarrollo humano sostenible

A partir de la década de 1990 se introdujo el concepto del Desarrollo Sostenible. El desarrollo sostenible se ha definido como el desarrollo capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, tal como aparecen en el conocido informe Brundlant (WCED, 1987). El desarrollo sostenible exige esfuerzos concertados para construir un futuro inclusivo, sostenible y resiliente para las personas y el planeta. Es a partir de ese momento que se orientan las políticas en el marco institucional y legislativo a fin de alcanzar una distribución más equitativa de los ingresos, crecimiento económico y la conservación y mejora del ambiente.

Se ha concebido deliberadamente el desarrollo sostenible como algo más atractivo que el clásico mensaje de la línea dura ecologista. En lugar de desafiar directamente la idea de crecimiento, se busca modificar la clase de estrategias de crecimiento que se siguen. El resultado de este objetivo de equilibrio entre las preocupaciones ambientales y económicas ha sido consensuado sobre una definición poco concreta (Dresner, 2009).

En las últimas dos décadas, el mundo ha alcanzado logros considerables en cuanto a desarrollo humano. La pobreza se ha reducido significativamente, el acceso a la educación primaria y los índices sanitarios han mejorado, y se han realizado progresos sustanciales a la hora de promover la igualdad de género y el empoderamiento de las mujeres. Ello se ha llevado a cabo en Bolivia gracias a los esfuerzos por cumplir los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM).

### 1.1.1. La Cumbre del Milenio

La Cumbre del Milenio llevada a cabo en la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre del año 2000 dio origen a la Declaración del Milenio, la cual definía para las siguientes décadas un conjunto de objetivos y metas de desarrollo en cuyo cumplimiento se comprometieron a participar activamente los gobernantes de todo el mundo (Bravo y Zapata, 2005; UDAPE, 2015).



Los ODM se resumen en 8 objetivos, cada uno presenta metas cuantificables hasta el año 2015 capaces de ser monitorizadas y evaluadas en el tiempo. Los ODM se orientan a la reducción de la extrema pobreza y el hambre, el mejoramiento de la educación y la salud




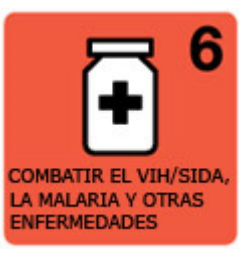

materno - infantil, la promoción de la igualdad entre los sexos, la reversión del deterioro ambiental, la disminución del VIH/sida y otras enfermedades, así como la conformación de una Alianza Global para el Desarrollo (ver los pictogramas y el texto de la tabla 1).

Para cada uno de los ODM se establecen unos indicadores (ver anexo I) que permiten cuantificar los resultados de los países en desarrollo, pero también de los países desarrollados que contribuyen a la superación de la pobreza y el avance del desarrollo humano a través de la financiación de programas, la condonación de la deuda, el acceso a medicinas esenciales y la transferencia de tecnología, entre otros aspectos.

En el Estado Plurinacional de Bolivia (Bolivia), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) inició tareas de seguimiento al progreso hacia el logro de los ODM a través de la publicación de informes de avance anual, con el apoyo del Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE), presentando el 2015 el octavo informe de progreso, o informe final (UDAPE, 2015).

Tabla 1. Objetivos del Milenio y metas establecidas para cada uno de ellos.  
(Fuente: web de la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas, 2015)

OBJETIVO	Metas
 <p>ERRADICAR LA POBREZA EXTREMA Y EL HAMBRE</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Reducir la pobreza extrema a la mitad hasta el 2015 y reducir la tasa de pobreza de las personas que viven con menos de 1,25 dólares al día.</i></li> <li>2. <i>Asegurar un empleo decente para todos.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aunque todavía persiste la desigualdad de género, se planea reducirla ya que hasta el 2012 la tasa de empleo mostró una diferencia de 24,8 % entre hombre y mujeres.</li> </ul> </li> <li>3. <i>Reducir la cantidad de personas que padecen hambre.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetivo alcanzable, pero se tiene una gran cantidad de personas a nivel mundial que se encuentran mal nutridas la cifra se encuentra alrededor de 842 millones de personas y en el caso de niños la cifra se encuentra en 99 millones de niños.</li> </ul> </li> </ol>
 <p>LOGRAR LA ENSEÑANZA PRIMARIA UNIVERSAL</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Lograr que para el 2015 los niños y niñas del mundo tengan acceso a la educación y puedan terminar el ciclo primario.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pese a que se hicieron grandes avances para cumplir esta meta, la realidad es que los niños y niñas de muchos países en vías de desarrollo no terminan la escuela primaria y a esto se suma la desigualdad.</li> </ul> </li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Eliminar las desigualdades entre hombres y mujeres empezando por la enseñanza primaria y secundaria.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen varios obstáculos que no permiten que se cumpla esta meta como la pobreza, limitados puestos de trabajo para mujeres, bajo salario. Poco a poco se ésta logrando la inclusión de la mujer en cargos importantes de trabajo en empresas y en la política.</li> </ul> </li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Reducir la mortalidad infantil en dos terceras partes de las cifras que se tienen a partir de 1990 hasta el 2015.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La meta es difícil de lograr debido a la reactivación de enfermedades como la neumonía y la diarrea, además de la malnutrición; pero, poco a poco, se logrará el control de enfermedades como ha sido el éxito en el control del sarampión.</li> </ul> </li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Reducir la mortalidad materna hasta un 75%.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esto se logrará con el acceso a una atención sanitaria adecuada y la reducción de la brecha entre áreas rurales y urbanas.</li> </ul> </li> <li>2. <i>Acceso universal a la salud reproductiva.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A fin de cumplir esta meta se deben reducir: las desigualdades en la atención prenatal y durante el parto; la situación de riesgo de madres jóvenes y de embarazos en adolescentes; las tasas de parto en adolescentes; ampliar y agudizar la información para mujeres; mejora de la planificación familiar para la mejora de la salud reproductiva.</li> </ul> </li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Detener y reducir la propagación del VIH/SIDA para el 2015.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso al tratamiento para todas las personas que lo necesiten, porque la tasa de infecciones de VIH supera la tasa de expansión del tratamiento.</li> </ul> </li> <li>2. <i>Reducir y detener la incidencia de otras enfermedades graves.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Como la malaria con la ayuda de mosquiteros; adquisición de medicamentos para los que se encuentren infectados,...</li> </ul> </li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Incorporar políticas y programas nacionales...</i> que tengan como base la disminución de la pérdida de recursos; reducir la pérdida de la diversidad biológica, con mayor énfasis en las especies endémicas de cada zona; reducción de las personas sin acceso a servicios básicos y agua potable, y conseguir una mejora en la calidad de vida de al menos 100 millones de personas que se encuentren en barrios marginales.</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Atender las necesidades especiales en países en vías de desarrollo,</i> ... pero sólo 5 países de la ONU alcanzaron esta meta.</li> <li>2. <i>Desarrollo de sistemas comerciales y financiero de modo abierto...</i> que sean beneficiosos para todos; lidiar integralmente con las deudas de los países en vías de desarrollo reduciendo la carga de la deuda.</li> <li>3. <i>Promover la cooperación con el sector privado...</i> y que los beneficios sean más accesibles para la adquisición de nuevas tecnologías, haciendo énfasis en el área de información y telecomunicaciones.</li> </ol>
<p>Se recomienda consultar:  <a href="http://www.udape.gob.bo/index.php?option=com_wrapper&amp;view=wrapper&amp;Itemid=106">http://www.udape.gob.bo/index.php?option=com_wrapper&amp;view=wrapper&amp;Itemid=106</a></p>	

### 1.1.2. Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible

En 2015, la Organización de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible (ONU, 2015), una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que se basan en los resultados y logros de los ODM, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades (PNUD, 2017).

A pesar de que los ODS no son jurídicamente obligatorios, se espera que los gobiernos los adopten como propios y establezcan marcos nacionales para su logro. Los países tienen la responsabilidad primordial del seguimiento y examen de los progresos conseguidos en el cumplimiento de los objetivos, para lo cual es necesario recopilar datos fiables, accesibles y oportunos. Las actividades regionales de seguimiento y examen se basarán en análisis llevados a cabo a nivel nacional y contribuirán al seguimiento y examen a nivel mundial.

Los ODS establecidos se reúnen en la tabla 2 en forma de pictogramas. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. Los ODS están interrelacionados, de tal forma que, con frecuencia, la clave del éxito de uno involucrará cuestiones vinculadas con otro. Para alcanzar estas metas, todo el mundo tiene que hacer su parte: los gobiernos, el sector privado, la sociedad civil y nosotros.

Tabla 2. Objetivos del Desarrollo Sostenible  
(Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>)





### 1.1.3. Bolivia y el desarrollo sostenible

En Bolivia hasta el 2012 se lograron cumplir cuatro objetivos de los ocho que se encuentran en el listado de ODM del PNUD, dos se encuentran en un proceso de evaluación, uno no se evaluó por la falta de datos que se requieren, y el último se considera un objetivo que no se puede cumplir debido a diversos factores.

El primer objetivo cumplido es el de la enseñanza universal primaria, donde, según datos de 2011 y 2012 de la UDAPE, se han conseguido valores cercanos al 100%, con una tasa de cobertura neta de educación primaria del 82,2%; la tasa de educación hasta sexto de primaria llega al 90%, aunque la tasa de alfabetismo de personas que se encuentran en edades de 15 y 24 años es del 99,5%.

El objetivo que trata de la erradicación de la pobreza y el hambre se ha cumplido casi en su totalidad, este es uno de los objetivos con mayor avance en comparación con los otros objetivos propuestos. Todos los indicadores de relación se encontraban cerca o al 100 %. Entre los indicadores que se analizaron uno no tenía una relación positiva alta, según datos de INE se tiene que para 1996 era del 66,5% y en el 2012 era de 59,6%.

En cuanto a la igualdad de género se tiene que si bien no se incluye a la mujer en todas las áreas y la remuneración por el trabajo aún tienen diferencias, se ha logrado un aumento de la participación de la mujer en el parlamento de 48%, y la brecha en educación entre mujeres y hombres ha ido disminuyendo tanto en educación primaria como en la educación secundaria.

La asociación mundial para el desarrollo se considera un objetivo cumplido, al haberse promovido el aprovechamiento de los beneficios de las nuevas tecnologías, aunque para PNUD se trata de un objetivo que no se puede evaluar correctamente. Bolivia cumple este objetivo mejor que otros países.

La reducción y eliminación del VIH/SIDA y otras enfermedades, es un objetivo relacionado con la salud que se cumplió, y es el que obtuvo mejores resultados hasta el 2012. En el caso del VIH/SIDA se redujo el índice de prevalencia a sólo 88 personas infectadas por millón de habitantes, y el índice de parasitosis de la malaria se redujo en un 30% desde el 2006 hasta el 2012.



La mejora de la salud materna no es evaluable debido a que no se encuentran datos recientes; del 2003 se conocen datos de la mortalidad materna, pero no para el 2012.

La reducción de la mortalidad infantil no se cumplió. De los tres indicadores que se tienen para medir su cumplimiento ninguno resultó positivo, con índices mayores que los que se registraron en otros países.

El objetivo de la sostenibilidad del medio ambiente está pendiente de valorar ya que se necesita la verificación de datos. Consta de dos metas, una de ellas es el acceso a agua potable y a servicios básicos (medible), y la otra es conseguir la sostenibilidad del medio ambiente como tal (se necesitan criterios para su definición e indicadores).

El PNUD se encarga de la financiación y la orientación para el cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible; este apoyo se brinda a los 170 países que se encuentran dentro del plan de cumplimiento de los ODS.

## **2. Hipótesis y Objetivos**

Basándose en la literatura consultada sobre las imágenes nocturnas de nuestro planeta, y su relación con diferentes variables socio-económicas y ambientales, se ha planteado tratar de verificar, o no, la posible relación entre unos indicadores de la sostenibilidad en Bolivia y la información captada por el sensor VIIRS a bordo del satélite Suomi National Polar Partnership (Suomi NPP). Para ello se han fijado las siguientes hipótesis y objetivos.

### **2.1. Hipótesis**

- a) La iluminación nocturna está relacionada directamente con la densidad de población y ésta inversamente con la distribución de pobreza.
- b) La iluminación nocturna está relacionada directamente con el consumo energético de un territorio.
- c) La iluminación nocturna está relacionada directamente con la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera de una población.

### **2.2. Objetivos**

#### **2.2.1. General**

Analizar la posible correlación entre indicadores de sostenibilidad de Bolivia y la iluminación nocturna captada en imágenes satelitales.

### 2.2.2. Objetivos Específicos

1. Comparar la densidad poblacional y la distribución de la pobreza en Bolivia con la iluminación nocturna.
2. Comparar los consumos energéticos en Bolivia con la iluminación nocturna.
3. Comparar la distribución y producción de CO<sub>2</sub> en Bolivia con la iluminación nocturna.

## 3. Marco geográfico, socio-económico y ambiental

### 3.1. Marco geográfico

El Estado Plurinacional de Bolivia, o simplemente Bolivia, se localiza en el centro de Sud América. A lo largo de la historia ha perdido parte de su territorio y desde 1884 no tiene salida al mar; comparte frontera al sur con Argentina (832 km) y Paraguay (750 km); al norte y al este con Brasil (3.400 km), y al oeste con Chile (861 km) y Perú (900 km). Presenta un territorio de 1.098.580 km<sup>2</sup> y, hoy en día, Bolivia sigue peleando por obtener soberanía de un corredor al Pacífico por el Desierto de Atacama, que Bolivia perdió en la Guerra del Pacífico contra Chile (figura 1).

#### 3.1.1. Orografía

Bolivia está atravesada de norte a sur por la Cordillera de los Andes, la cual se divide en tres sistemas orográficos principales (Schmeling, 2016; Educa.com, 2015). Las cadenas montañosas y serranías en Bolivia están constituidas por rocas macizas y compactas de origen ígneo, sedimentario y metamórfico. Por otra parte, los llanos, el altiplano y otras cuencas menores en gran parte presentan depósitos de materiales sueltos como arcillas, arenas y gravas.

- La Cordillera Occidental: Nevado Sajama es la zona más elevada del país, hace de frontera natural con Chile y tiene como singular característica el vulcanismo de sus cumbres. El clima es frío e inadecuado para la vida vegetal o animal. Su principal riqueza se encuentra en su suelo, el cual contiene grandes cantidades de minerales metálicos como el oro, la plata, el cobre, etc.
- La Cordillera Central: divide las tres cuencas hidrológicas del país; tiene una importante riqueza mineral y cuenta con las segundas cumbres más altas de Bolivia. Esta sección

comienza en el norte en el nevado Chaupi Orco y los tres palomanis hacia el sur, hasta el cerro Zapaleri, triple frontera con Chile y Argentina.

- La Cordillera Oriental: está formada por cadenas paralelas que se despliegan de norte a sur, y las cuales en muchas ocasiones se internan en regiones boscosas y húmedas, ricas en productos agrícolas y ganaderos.
- Macizo Chiquitano: se encuentra repartido por el norte del país en serranías y colinas aisladas, de poca elevación, formadas en el periodo Precámbrico, plegamiento que bordea el Escudo Chiquitano.



Figura 1. Situación geográfica de Bolivia (Fuente: Geology.com).

### 3.1.2. Hidrología

En Bolivia hay tres cuencas o vertientes hidrográficas muy definidas. La Cuenca Amazónica, que es la más importante y ocupa casi el 50% del territorio. La Cuenca del Plata y la Cuenca Altiplánica o de los lagos (Educa.com, 2016).

Las tres cuencas principales se dividen en 10 sub-cuencas, 270 ríos, 184 lagos y lagunas, 260 pequeños y medianos humedales, y 6 salares.

- La Cuenca Amazónica va desde la Cordillera Real a todo el Oriente. Entre sus principales ríos se tienen al Madre de Dios, Mamoré, Ítenez y Beni, que desembocan en el río Madera. El río Madera es la principal fuente de del Amazonas.
- La Cuenca del Plata se encuentra en el Sureste del país, Sucre, el río más importante de esta cuenca es el Paraguay, que limita con el río Pilcomayo.
- La Cuenca Altiplánica forma un eje entre el Lago Titicaca y el Lago Poopó, y el río Desaguadero es el que une en una cuenca cerrada. En esta zona también se encuentran los salares de Uyuni y Coipasa.

En las tablas 3 y 4 se recogen, respectivamente, la lista de ríos por cuenca hidrográfica y la extensión de lagos y salares de Bolivia.

Tabla 3. Ríos por cuenca hidrográfica (Fuente: INE, 2018).

Cuenca	Río	Longitud (km)
Amazónica	Abuná / Chipamanu / Rapirran	400
	Acre	100
	Apere	250
	Baures / Concepción / Caliente Blanco	520
	BENI	980
	Chapare	380
	Iténez / Guaporé	600
	Ichilo	280
	Itonomas	820
	Madre de Dios	1.700
	Mamoré	2.000
	Madidi	320
	Orthon / Tahuamanu	390
	Paraguá	380
	Pirai	280
	Yacuma	260
	Yata	480
La Plata	Bermejo / Santa Rosa / Condado	120
	Parapetí	200
	Pilcomayo	700
Central Lacustre (Poopó)	Desaguadero	360

Tabla 4. Extensión de Lagos y Salares (Fuente: INE, 2018).

	<b>Nombre</b>	<b>Departamento</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura media (m.s.n.m.)</b>
Lagos	Titicaca *	La Paz	8030	3810
	Poopó	Oruro	1337	3686
	Huaytunas	Beni	360	200
	Rogagua	Beni	350	200
	Rogaguado	Beni	324	200
	Uru Uru	Oruro	214	3692
Salares	Uyuni	Potosí	10582	3656
	Coipasa	Oruro	2218	3680

(\*) 3,690 km<sup>2</sup> corresponden a Bolivia

### 3.1.3. Clima

Bolivia se encuentra en la latitud del Trópico de Capricornio, y contiene una gran variedad de climas debido a la diferencia de alturas y a la topografía accidentada. La topografía hace que la temperatura no sea uniforme, ésta varía según la zona, encontrándose claras diferencias con la altura y no siendo reguladas sólo por la latitud.

En las Cordillera Occidental y Occidental, y yendo en dirección norte, el clima se regula por la altura; el clima de las cumbres de nieves eternas polares contrasta con las llanuras de clima cálido tropical, ambos se encuentran a la misma latitud.

Bolivia es un país donde se encuentran todos los climas; desde el tropical en las llanuras hasta los climas más fríos en las altas cordilleras. La variabilidad climatológica de Bolivia se da por la intervención de varios factores, como son: latitud, altitud, ubicación geográfica, relieve de las cordilleras, ubicación de los trópicos, presencia de llanuras, vientos alisios y fenómenos como el Niño y la Niña.

Bolivia se conoce como "país andino", sin embargo, la zona andina sólo ocupa el 28% del territorio; la zona sub-andina o valles representan el 18% y la región cálida de llanuras y amazonia ocupa el 60 % del territorio; por esto también es considerada como un país amazónico (RedBoliviaMundo, 2017).

### 3.1.4. Fisiografía

En el territorio boliviano se consideran tres zonas geográficas predominantes (Bollivian, 2015), como se puede ver en la figura 2:

- Andina: Abarca el 28% del territorio con una extensión de 307,000 km<sup>2</sup>. Esta zona se halla a más de 3,000 m.s.n.m., ubicada entre los dos grandes ramales andinos: las cordilleras Occidental y Oriental o Real, las que presentan algunas de las cumbres más elevadas de América. Aquí se encuentra el lago considerado más alto del mundo, el Lago Titicaca, situado a 3.810 m sobre el nivel del mar, con una extensión de 8.100 km<sup>2</sup> que lo sitúa en el vigésimo cuarto lugar en el ámbito mundial; a Bolivia le corresponden 3.690 km<sup>2</sup> y el resto al Perú por donde navegan embarcaciones de gran calado, posee además islas como la Isla del Sol, de la Luna, Koati y otros.
- Sub-andina: Región intermedia entre el altiplano y los llanos orientales que abarca el 13% del territorio, y comprende los valles y los yungas (a 2.500 m de altitud promedio). Se caracteriza por su actividad agrícola y su clima templado a cálido (15 a 25°C).
- Llanos: Abarca el 59% de la superficie nacional y se ubica al norte de la cordillera Oriental o Real que se extiende desde el pie de los Andes hacia el río Paraguay, es una tierra de llanuras y bajas mesetas, cubierta por extensas selvas ricas en flora y fauna. Registra una temperatura media anual entre 22 y 25°C.

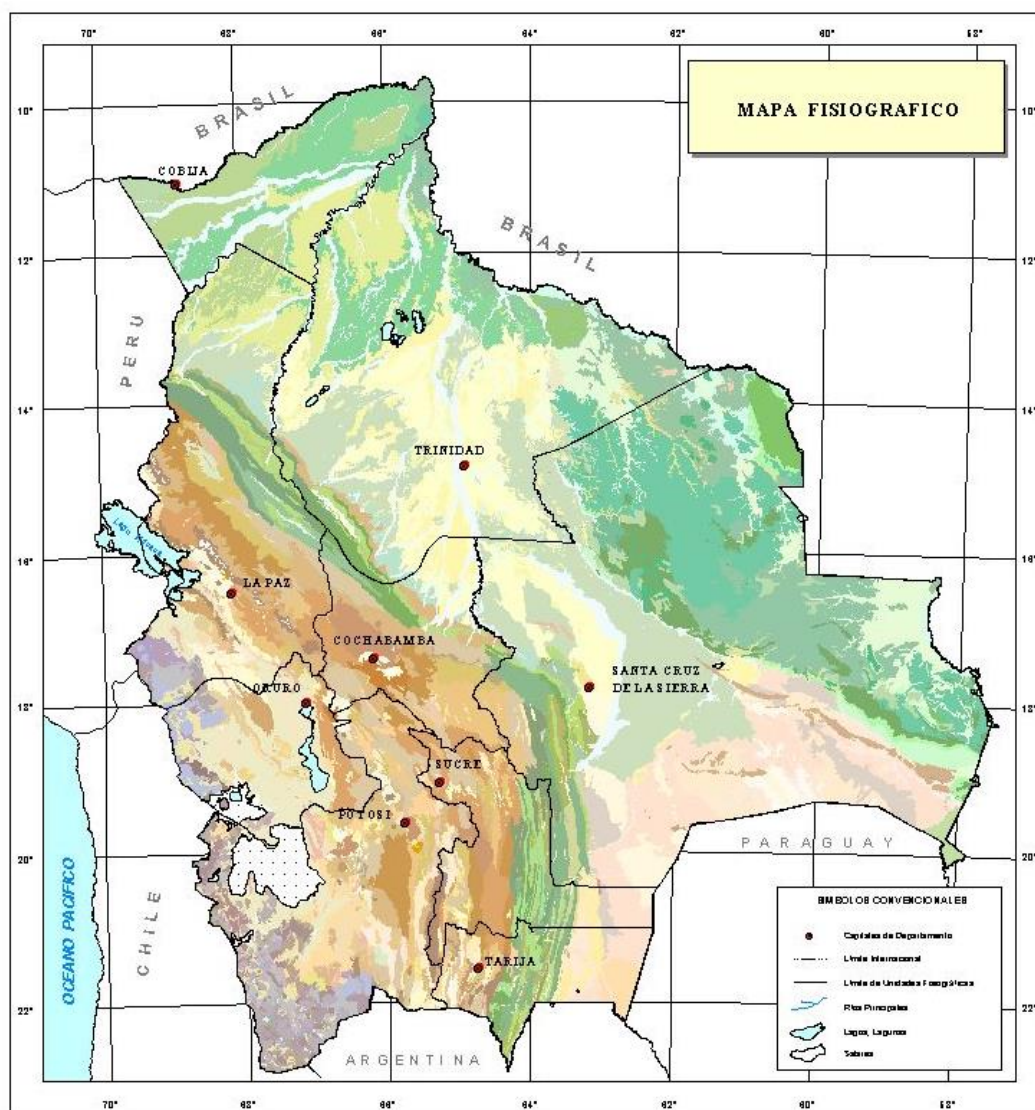


Figura 2. Mapa fisiográfico (Fuente: CDRN Bolivia, 2004).

### 3.1.5. Áreas protegidas

Bolivia cuenta con 22 áreas protegidas de carácter nacional, todas estas áreas son parte del servicio nacional de áreas protegidas (SNAP). El total de áreas protegidas nacionales y su distribución espacial en el territorio nacional se puede visualizar en la figura 3 y se recogen en la tabla 5.



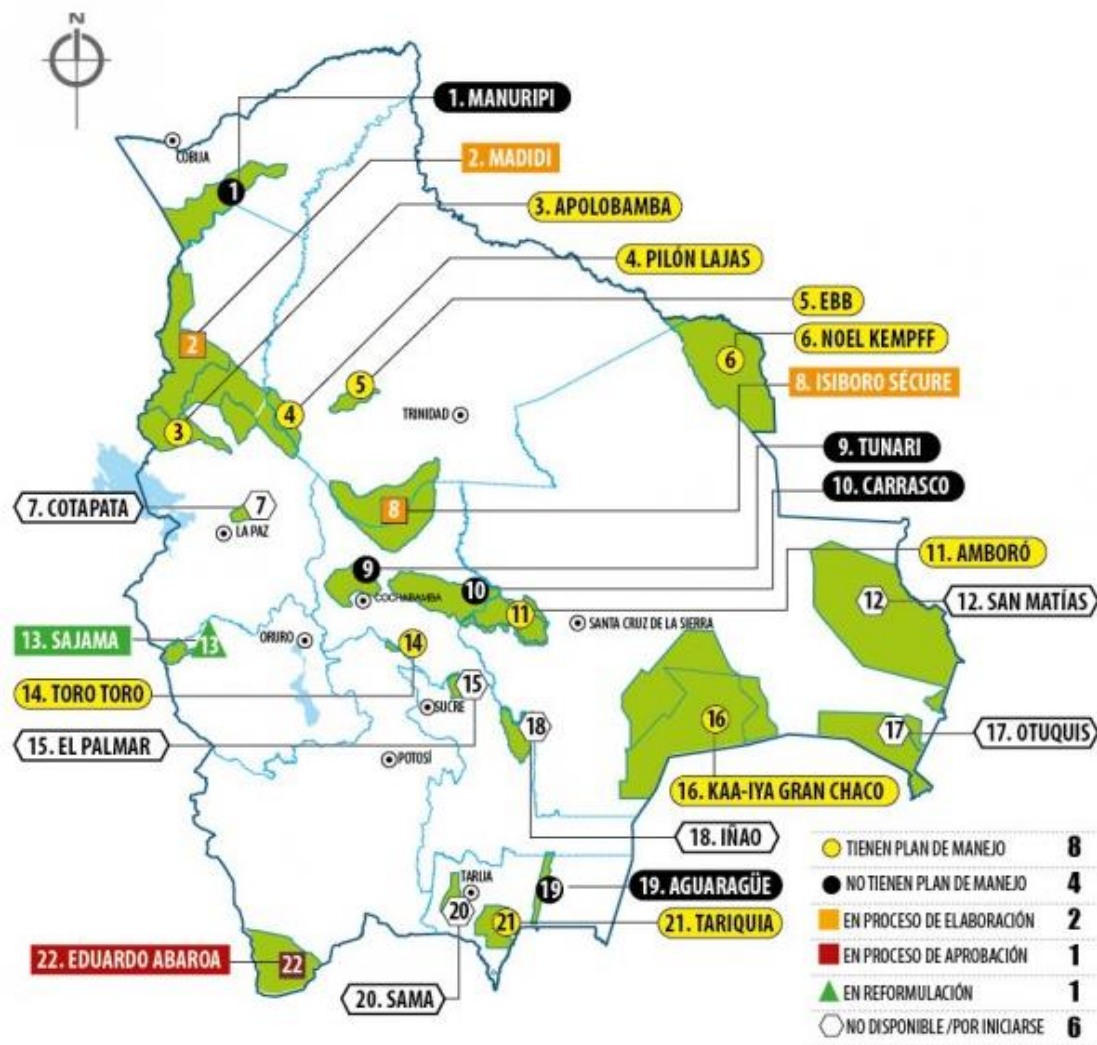


Figura 3. Áreas protegidas de Bolivia (S.a, 2017).

En la figura 3 se observa el Corredor biológico: Madidi (2) - Pílon Lajas (4) -Carrasco (10) - Amboró (11). A pesar de ser áreas protegidas este corredor está sufriendo la destrucción sistemática por la acción del hombre (Argote, Albert Hans, 2015).

En las áreas protegidas se tienen los impactos potenciales ambientales y sociales que se generan por la explotación de hidrocarburos; las zonas de preservación estricta y zonas núcleo se encuentran susceptibles a la degradación por las actividades petroleras.

Las áreas protegidas son un patrimonio natural de cada boliviano y boliviana, por lo cual se deben proteger y cuidar, ya que traen beneficios ambientales y son el hogar de pueblos indígenas, diversas especies de fauna y flora endémicas del país.



Tabla 5. Características de las Áreas protegidas.

Fuente: Elaborado en base a datos de SERNAP y GeoBolivia (2015).

Nombre	Categoría	Extensión (Ha)
Aguarague	Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado	110.873,62
Amboró	Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado	598.245,01
Apolobamba	Área Natural de Manejo Integrado Nacional	478.483,83
Carrasco	Parque Nacional y Refugio de Vida Silvestre	691.771,33
Cordillera de Sama	Reserva Biológica	106.805,77
Cotapata	Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado	61.669,56
Eduardo Avaroa	Reserva Nacional de Fauna Andina	683.931,14
El Palmar	Área Natural de Manejo Integrado	60.275,41
Estación Biológica del Beni	Reserva de la Biósfera	135.157,79
Iñaño	Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado	263.308,22
Isibiro Securé	Parque Nacional Territorio Indígena	1.302.757,17
Kaa-íya del Gran Chaco	Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado	3.417.536,01
Madidi	Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado	1.894.636,49
Manuripi	Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica	752.234,40
Noel Kempff Mercado	Parque Nacional	1.617.987,17
Otuquis	Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado	1.010.160,82
Pilón Lajas	Reserva de la Biósfera y Territorio Indígena	387.653,71
Sajama	Parque Nacional	95.874,36
San Matías	Área Natural de Manejo Integrado	2.944.211,57
Tariquía	Reserva Nacional de Flora y Fauna	247.257,59
Toro Toro	Parque Nacional	16.825,97
Tunari	Parque Nacional	329.270,77
		<b>Total: 17.206.927,68</b>

### 3.1.6. Biodiversidad

Bolivia es uno de los países que tienen mayor diversidad biológica en el mundo (octavo lugar a nivel mundial); se concentran entre un 35% y un 45% de la diversidad biológica del planeta (RedBoliviaMundo, 2017). Uno de los factores que influyen más en la variabilidad de regiones y la existencia de pisos ecológicos es el gradiente altitudinal que va desde 130 a 6542 m.s.n.m.

Se pueden diferenciar 4 tipos de biomas, 12 ecoregiones y 199 ecosistemas. Los ecosistemas que más resaltan son Amazonía, Yungas, Bosque Chiquitano y Gran Chaco, y los bosques interandinos (Sánchez, 2012). La presencia de los pisos ecológicos y microclimas que existen favorecen los endemismos y la concentración de diversidad biológica.

La conservación y protección de los ecosistemas tiene efectos positivos indirectos sobre la producción agrícola, forestal y pesquera, para el bienestar de la población, calidad de suelos, producción de alimentos y medicina, secuestro de carbono, calidad de aguas, calidad atmosférica, y otros.

### 3.1.6.1. Vegetación

Según la clasificación de Navarro (2009) y la "Guía de árboles de Bolivia", la cobertura boscosa es de 51,4 millones de hectáreas, que se dividen en 9 tipos de bosques (figura 4) que se estudian por ecosistemas:

- Bosque amazónico
- Bosque chiquitano
- Bosque seco interandino
- Bosque boliviano tucumano
- Bosque chaqueño
- Bosque de llanuras inundables
- Bosque de pantanal
- Bosque de yungas
- Bosque andino

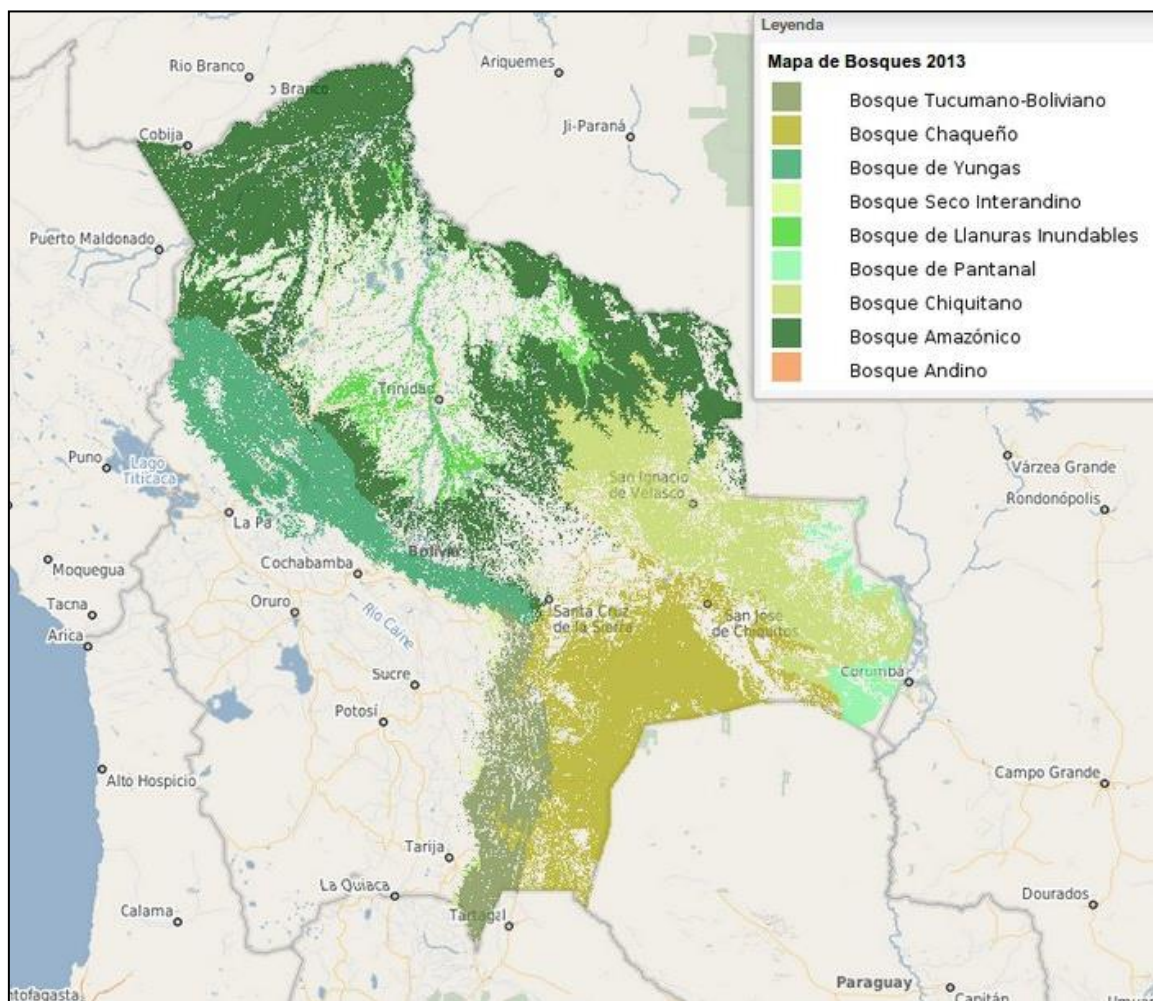


Figura 4. Mapa de bosques de Bolivia (GeoBolivia, 2015).

### 3.1.6.2. Fauna

Desde la perspectiva faunística, Bolivia es considerada un país megadiverso, porque cuenta con una gran riqueza en especies de vertebrados; es el cuarto país a nivel mundial en riqueza de mariposas y sexto en especies de aves. Unas 20.000 especies de plantas de las cuales 134 son especies maderables, más de 2.600 especies animales silvestres superiores, más de 50 especies nativas domesticadas y más de 3.000 variedades de plantas medicinales.

## 3.2. Marco socio-económico

### 3.2.1. Distribución de la población

El Instituto Nacional de Estadística (INE) es el encargado de facilitar datos oficiales del Censo de Población y Vivienda de Bolivia. En palabras de su director Luis Pereyra, *“en Bolivia aún no hay buenos registros de población. En la mayoría de los países de la región se obtiene de su registro civil. Es decir, con el número de personas que nacen y mueren y las que salen y regresan del exterior o que se mueven de un municipio a otro. En Bolivia, los registros administrativos aún no están desarrollados a ese nivel”*.

Los datos del censo que el INE facilita se recogen en la tabla 6; en ella se puede observar como más de la mitad de la población reside en los departamentos de Santa Cruz y de La Paz (sede del gobierno), y que el departamento con mayor crecimiento demográfico en los últimos años es precisamente el menos poblado, o sea, Pando (ICEES, 2013).

Según datos del Censo 2012, el 90,4% de la población reside en área urbana y el 9,6% restante en área rural, siendo Santa Cruz de la Sierra la población más habitada (Melendres, 2017). Se calcula, también, que tres millones de bolivianas y bolivianos viven en el exterior en calidad de migrantes, fundamentalmente en Argentina, España, Brasil y Estados Unidos.

Como puede observarse en la tabla 6, Bolivia es un país muy poco poblado, con una densidad media de 7,53 habitantes por cada km<sup>2</sup> en 2001, 9,46 en el 2012 y 10,46 habitantes/km<sup>2</sup> en el censo más reciente del 2017. Si bien existe una gran extensión de territorio, la población muestra una distribución desigual. La figura 5 muestra la distribución de los poblados de Bolivia (28.749) por el territorio. Comparando esta imagen con la de la distribución de pobreza por municipios se observa mayor concentración de poblados en las zonas de mayor pobreza.

Tabla 6. Datos de la población de Bolivia INE, 2012.

(Fuente: Elaboración propia en base a INE, 2018).

Departamento	Censo 2001	Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	Censo 2012	Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	Censo 2017	Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	% (2017)
Santa Cruz	2.029.471	5,47	2.776.244	7,49	3.151.676	8,50	28.3
La Paz	2.349.885	17,53	2.741.554	20,46	2.862.504	21,36	25.7
Cochabamba	1.455.711	26,17	1.938.401	34,84	1.943.429	34,93	17.4
Potosí	708.695	5,99	798.664	6,75	880.651	7,45	7.9
Chuquisaca	531.522	10,32	600.728	11,66	621.148	12,05	5.6
Tarija	391.226	10,40	508.757	13,52	553.373	14,71	5.0
Oruro	392.769	7,33	490.612	9,15	531.890	9,92	4.8
Beni	362.521	1,70	425.780	1,99	462.081	2,16	4.1
Pando	52.525	0,82	109.173	1,71	139.018	2,18	1.2
<b>Total</b>	<b>8.274.325</b>	<b>7,53</b>	<b>10.389.913</b>	<b>9,46</b>	<b>11.145.770</b>	<b>10,46</b>	<b>100.0</b>

El crecimiento de las principales ciudades del país está comportando un elevado índice de marginación social en servicios básicos, una deficiencia en el uso de energía, falta de agua potable, alcantarillado mal dimensionado, etc. Aunque el crecimiento de la población tiende a ser exponencial, éste no tiene relación con el aumento de los servicios básicos, es decir, que el crecimiento de la población no se encuentra relacionada con el desarrollo de los servicios básicos (S.a., 2016).

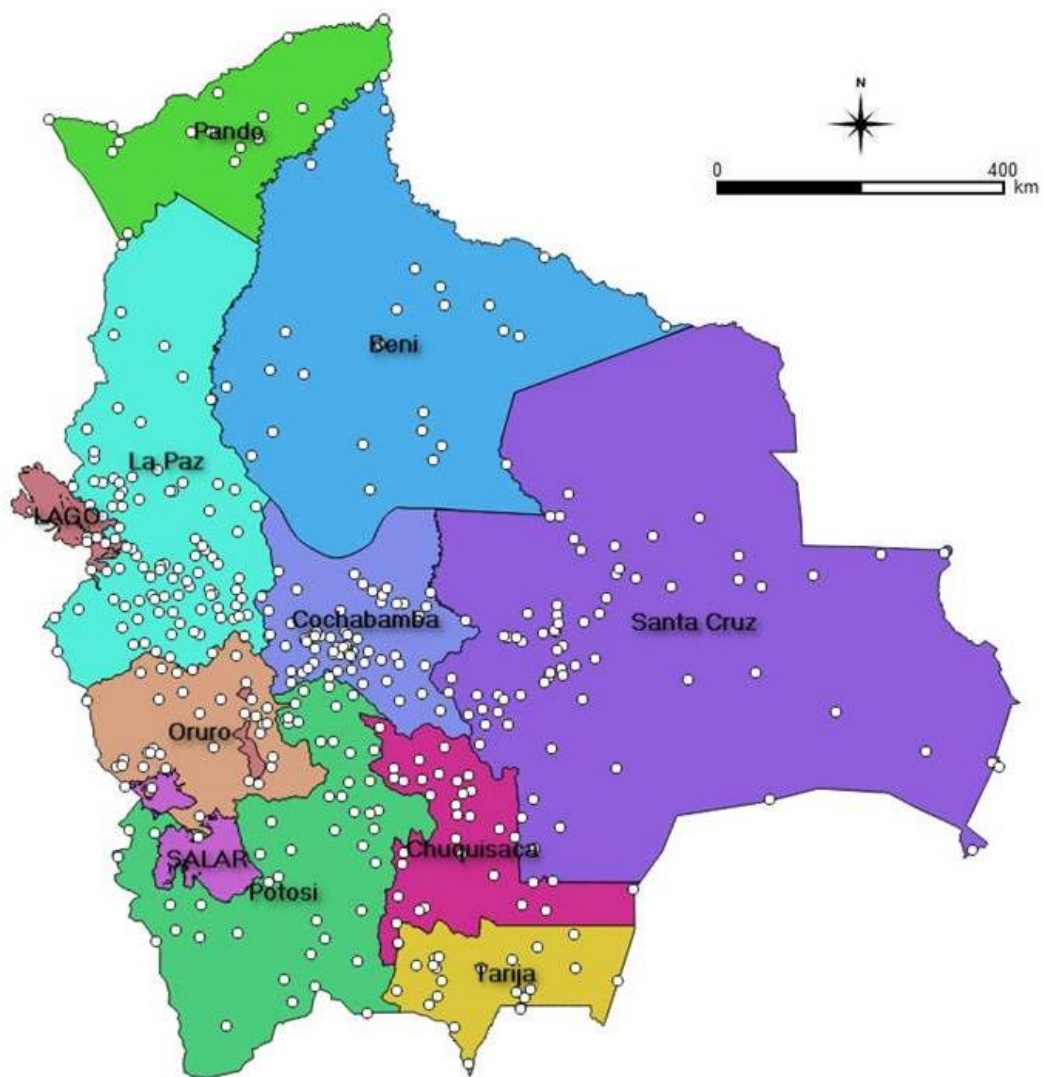


Figura 5. Distribución de poblados en Bolivia.

### 3.2.2. Producción energética

La energía eléctrica en Bolivia se produce a partir de las fuentes, estas son la hidroeléctrica, termoeléctrica, eólica, geotérmica, solar, y biomasa. La red principal (figura 6), esta no llega a todos los departamentos por lo que se instalaron pequeñas plantas generadoras en los poblados más pequeños y alejados.



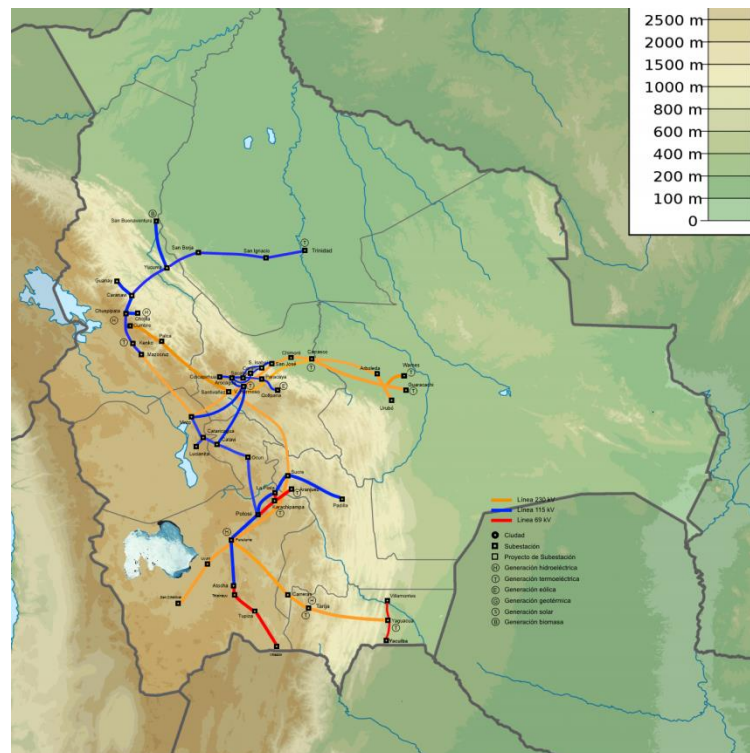


Figura 6. Red eléctrica de Bolivia (ENDE, 2018).

De la energía eléctrica que consume el Estado Plurinacional de Bolivia, el departamento de Cochabamba provee el 51,0%, alimentada por la planta ENDE Andina con el 22,3%, y le sigue Valle Hermoso con el 11,8%, Coraní con el 10,4% y Bulo Bulo con el 6,5%, tal como informó el Instituto Nacional de Estadística al conmemorarse los 207 años de la efeméride departamental (figura 7).

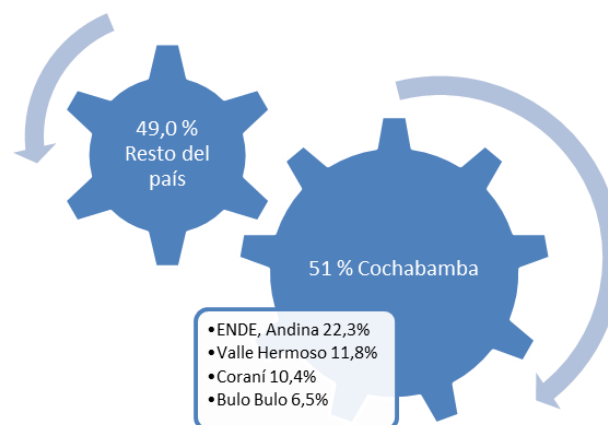


Figura 7. Participación porcentual del departamento de Cochabamba en la generación total de energía eléctrica en Bolivia el año 2015 (INE, 2012).

En Bolivia la producción y consumo tiene menor costo que en otros países como Ecuador, esto se debe a la legislación que tiene cada uno de los países, en Bolivia las restricciones no son tan severas. Por tanto, en Bolivia existe menor concentración de iluminación, pero el territorio es mayor en comparación con Ecuador que tiene mayor concentración de iluminación en un territorio más pequeño.



Figura 8. Mapa de iluminación filtrada.

### 3.3. Indicadores de Sostenibilidad en Bolivia

El proceso de desarrollo y búsqueda de indicadores de sostenibilidad en Bolivia ha sido lento e inconstante, y se encuentra sujeta a la dinámica política del país, presupuestos y leyes. En Bolivia y en otros países de Sudamérica se ha despertado el interés por el desarrollo y aporte de indicadores ambientales, pero éstos se enfocan más en el área ambiental. Los indicadores de la sostenibilidad es información que se vincula entre sí, de tal forma que se incorporan indicadores de tres tipos: social, ambiental y económico, además del indicador de gobernanza que se ha añadido recientemente.

#### 3.3.1. Indicador económico: Consumo energético

El indicador económico considerado se refiere a la "cantidad máxima que un individuo puede consumir en un periodo determinado de tiempo sin reducir el consumo en un periodo futuro" (Durán, 2001). Este indicador se estudia junto con el PIB (Producto Interno Bruto), de forma

que se incluya el valor de los recursos y la riqueza del país, además del consumo y producción de energía.

### 3.3.2. Indicador social: Distribución de la pobreza

El indicador social considerado se refiere a los costos y beneficios que se distribuyen de forma adecuada a toda la población dentro de un territorio determinado, es decir la distribución de la pobreza.

Desde el punto de vista social se busca la correcta organización social, pero en el caso de Bolivia la distribución de la riqueza es desigual, existen zonas donde la población se encuentra en una situación de extrema pobreza. También se toman en cuenta factores como el acceso a los centros de salud y la educación (tasas de analfabetismo y acceso a la educación).

### 3.3.3. Indicador ambiental: Emisiones de CO<sub>2</sub>

La sostenibilidad ambiental se relaciona con la capacidad de mantener el mismo ambiente en el tiempo. En Bolivia este indicador se puede medir de varias formas, como la situación de la biodiversidad (riesgo para la fauna y la flora), la contaminación de aguas, la contaminación de suelos, la contaminación del aire, la contaminación lumínica, y los efectos y causas del cambio climático.

Curiosamente el indicador ambiental de sostenibilidad con el que se comparan los países es la cantidad de CO<sub>2</sub> que emite ya que es una causa del cambio climático detectado. En los últimos años en Bolivia se ha notado un aumento de CO<sub>2</sub>; en el año 2012 se emitieron 16.926 kTn (1,66 Tn/hab) y en el año 2017 se llegó a 19.464 kTn (1,79 Tn/hab), lo que ubica a Bolivia en el lugar 102 del ranking de 185 países, ordenados de mayor a menor (S.a., 2016).

### 3.3.4. Indicador gobernanza: Legislación

La legislación en Bolivia se encuentra relacionada con los anteriores indicadores mencionados:

- En el sector social se tienen políticas de reducción de la pobreza y mejora de los bajos niveles de vida de la población más vulnerable del país; unos ejemplos para que se realice la mejora son la "Estrategia para la transformación Productiva del Agro", y el



"Apoyo a la mediana y pequeña empresa" (Durán, 2001); aunque con un enfoque a largo plazo, el objetivo es la reducción de la pobreza y la reducción de la inseguridad alimentaria en el área rural del país (inversión pública del 81%).

- En cuanto a la economía, la legislación se enfoca en los sectores de producción a nivel nacional. En el sector de agricultura y ganadería se tiene la Ley INRA y la Ley Forestal, donde la estrategia se basa en el aumento de la aplicación de nuevas tecnologías, la inversión en desarrollo humano, el manejo de cuencas naturales y la inversión en riego y caminos. El segundo sector es el de energía e hidrocarburos para el que se desarrollan las Leyes de Hidrocarburos y energías que promueven la interconexión y distribución de las reservas de estos recursos. El tercer sector es el de transportes y comunicaciones, que pretende aprovechar la ubicación de Bolivia como punto de intercomunicación entre los países que se encuentran alrededor.
- En el caso del sector ambiental toda la legislación tiene como objetivo la conservación y mejora del medio ambiente.

Aunque las políticas y la legislación boliviana han cambiado y se enfocan hacia la sostenibilidad, todavía se maneja el doble discurso, por un lado, se fomenta la sostenibilidad, pero por otro lado se busca el desarrollo económico a partir de la explotación irracional e indiscriminada de los recursos, generando un deterioro ambiental.

### **3.4. Iluminación nocturna artificial**

La iluminación artificial nocturna es un requisito imprescindible para la habitabilidad de las zonas urbanas modernas y, en menor medida, de las zonas rurales, y es también necesaria para llevar a cabo un gran número de actividades comerciales; además, mejora la seguridad ciudadana, refuerza la prevención de riesgos laborales en espacios concretos y es necesaria para garantizar la seguridad industrial de determinadas instalaciones.

La contaminación lumínica es el aumento del fondo de brillo del cielo nocturno natural, a causa de la dispersión y reflexión de luz procedente de una iluminación artificial mal diseñada. Este aumento de luz artificial perturba y altera las propiedades del medio receptor. También se considera contaminación lumínica cualquier forma de iluminación artificial que afecte a un medio receptor que no sea el objeto de la iluminación.

La contaminación lumínica ocasiona una pérdida del patrimonio cultural que supone la dificultad de ver el cielo estrellado. Además, un alumbrado nocturno excesivo o incorrecto

supone un derroche de energía y gasto económico a tener en cuenta y en ocasiones, puede causar molestias al invadir el ámbito privado. De la misma manera la radiancia de la luz por las noches tiene un sinnúmero de efectos en el medio ambiente, que bien pueden afectar los procesos naturales de la flora y la fauna.

En cada latitud y según la época del año existen unos patrones de iluminación día/noche y estacionales, que determinan los ciclos circadianos, circanuales y circalunares a los que los seres vivos se han adaptado y según los cuales se han especializado condicionando a ellos sus patrones de comportamiento: horas de actividad, depredación, reproducción, polinización, hibernación, etc. No es de extrañar, por lo tanto, que la ruptura de dichos patrones naturales debido a la implantación de fuentes de iluminación artificial tenga consecuencias adversas sobre la biodiversidad en un amplio rango de grupos, especies y ecosistemas diferentes.

La importancia de más estudios sobre la iluminación y la salud es clara, especialmente cuando leemos titulares sobre enfermedades debidas a la luz azul nocturna emitida por las bombillas LED y pantallas de teléfono. El equipo de Manolis Kogevinas (Garcia-Saenz et al., 2018) ha estudiado el riesgo de padecer cáncer de mama y de próstata como consecuencia de la exposición a la luz artificial nocturna, y lo ha hecho utilizando encuestas personales si la exposición es en el interior, y a partir de imágenes nocturnas tomadas por la ISS para los niveles al aire libre.

Las LED son más eficientes que las bombillas de bajo consumo que se usan en las viviendas, pero no más que las lámparas de sodio que se usan para iluminar carreteras y calles. Sin embargo, la mayor parte de los países está cambiando las bombillas convencionales por sistemas LED, lo que ha causado un "efecto rebote", porque "se están sustituyendo unas por otras sin estudiar previamente cuál es la iluminación correcta para cada sitio". En la mayoría de países esta sustitución de luces se está haciendo "a golpe de subvención" y sin planificar qué tipo de luz o cuánta es necesaria: "en muchos lugares se han cambiado una bombilla de sodio por tres o cuatro LED, por lo que al final el gasto y la contaminación son mayores".

Según el estudio, entre 2012 y 2016, la luz nocturna ha crecido al mismo ritmo que el Producto Interior Bruto (PIB) de los países desarrollados y mucho más rápidamente en los países en desarrollo de América del Sur, África y Asia. En ese periodo, el brillo nocturno

solo descendió en unos pocos países del mundo, la mayoría, como Yemen o Siria, por estar en guerra, y se mantuvo estable en Italia, Holanda, España y Estados Unidos, que ya se encontraban entre los más iluminados del planeta.

### 3.5. Teledetección: sensores nocturnos

Para la obtención de imágenes los satelitales que observan a la tierra pueden capturar esta luminosidad artificial creando productos de interés para análisis tanto comercial como científico. Mostrando en qué lugares en la tierra hay iluminación artificial y haciendo una media ponderada del brillo que se observa desde el espacio.

#### 3.5.1. DMSP/OLS vs VIIRS/DNB

Durante más de 40 años el único sistema de captación de datos de baja iluminación nocturna ha sido el Operational Linescan System (OLS) a bordo de 24 satélites DMSP (U.S. Air Force Defense Meteorological Satellite Program). El diseño del sensor OLS apenas ha cambiado desde finales de los años 1970, con una baja resolución espacial, rango dinámico limitado, y una falta de calibración en vuelo. El 8 de octubre de 2011 la NASA y la NOAA lanzaron el satélite Suomi National Polar Partnership (Suomi NPP) con el primer instrumento Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). El VIIRS registra datos de baja iluminación en forma de imágenes con ciertas mejoras respecto a las capacidades del OLS.

Los productos del DMSP “padecían” una resolución espacial baja, una cuantificación de tan solo 6 bits (resolución radiométrica), una saturación para luces brillantes, una falta de sistema de calibración en vuelo, una falta de disponibilidad de bandas espectrales para discriminar fuentes térmicas de luz, y una falta de disponibilidad de bandas espectrales para distinguir los tipos de luz (Elvidge et al., 2010).

La banda “visible” puede denominarse como pancromática, integrando la región visible y del infrarrojo cercano de 0.5 a 0.9  $\mu\text{m}$  (figura 9). Cabe decir que en sus orígenes el producto era una imagen en niveles de gris de la que los meteorólogos hacían una interpretación visual, por lo que no había información con unidades radiométricas. Esta importante deficiencia se subsana en el instrumento VIIRS, que permite registrar datos con alta calidad radiométrica para análisis digital e introducción en modelos numéricos. VIIRS incluye una banda día/noche (DNB) que recoge imágenes pancromáticas de día y de noche.

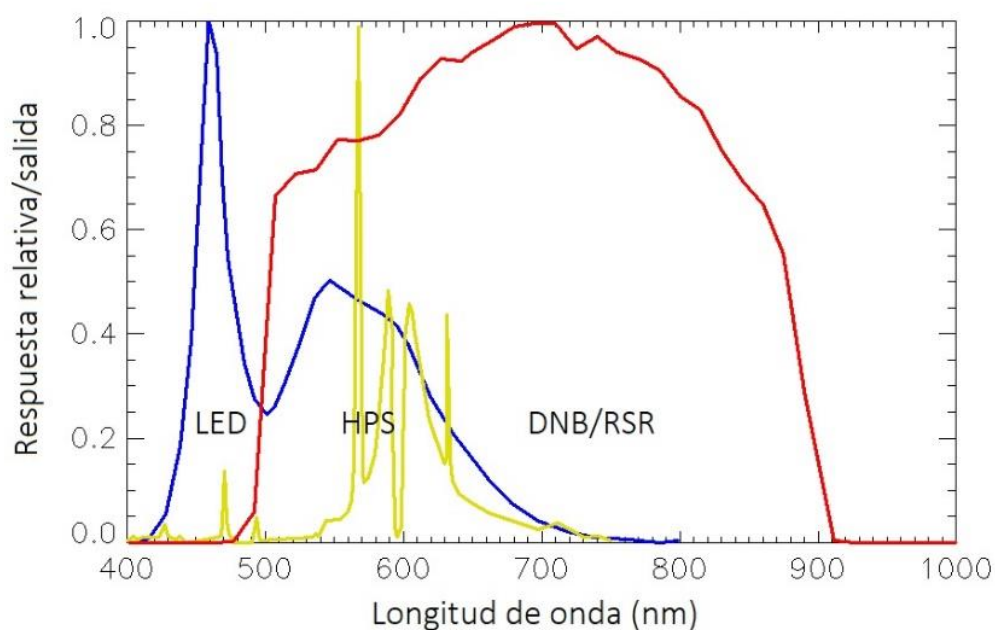


Figura 9. Espectro de lámparas LED, de alta presión de sodio (HPS) y VIIRS/DNB  
(Fuente: modificado de Cao & Bai, 2014).

La tabla 7 recoge información de los sensores DMSP-OLS y Suomi NPP-VIIRS a modo de comparativa entre ambos.

Tabla 7. Comparativa entre DMSP-OLS y Suomi NPP-VIIRS.

Variable	DMSP-OLS	Suomi NPP-VIIRS
Fabricante/operador	U.S. Air Force	NASA-NOAA Joint Polar Satellite System (JPSS)
Órbita	Polar altitud: 850 km; inclinación: 98.8°; tiempo: 102 minutos	Polar altitud: 827 km; inclinación: 98.7°; tiempo: 102 minutos
Swath	3000 km	3000 km
Paso nocturno por el ecuador	~19:30	~01:30
Anchura de banda	Pancromática 0.5 a 0.9 $\mu\text{m}$	Pancromática 0.5 a 0.9 $\mu\text{m}$
Resolución espacial	5 km x 5 km en el nadir	742 m x 742 m
Otras bandas espectrales	Infrarrojo térmico (10 $\mu\text{m}$ )	21 bandas (de 0.4 a 13 $\mu\text{m}$ )
Resolución radiométrica	6 bit	14 bit
Saturación	En el centro de las ciudades	No saturación
Umbral de detección de luz	$\sim 5 \times 10^{-10} \text{ W/cm}^2/\text{sr}$	$\sim 2 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2/\text{sr}$
Calibrado	No para la banda pancromática	Difusor solar para la DNB. Calibración adicional para bajos niveles de luz

La figura 10 muestra las imágenes captadas por los sensores OLS y DNB de la isla de Oahu (Hawaii, USA). En ellas se pueden observar mayores detalles espaciales en la VIIRS/DNB que en la obtenida con el DMSP/OLS. También se observa para el OLS una mayor saturación sobre las áreas urbanas, y ruido “salt & pepper”; este ruido no se aprecia en la DNB ya que es más fácil establecer un umbral de ruido y filtrarlo (Elvidge et al., 2013).

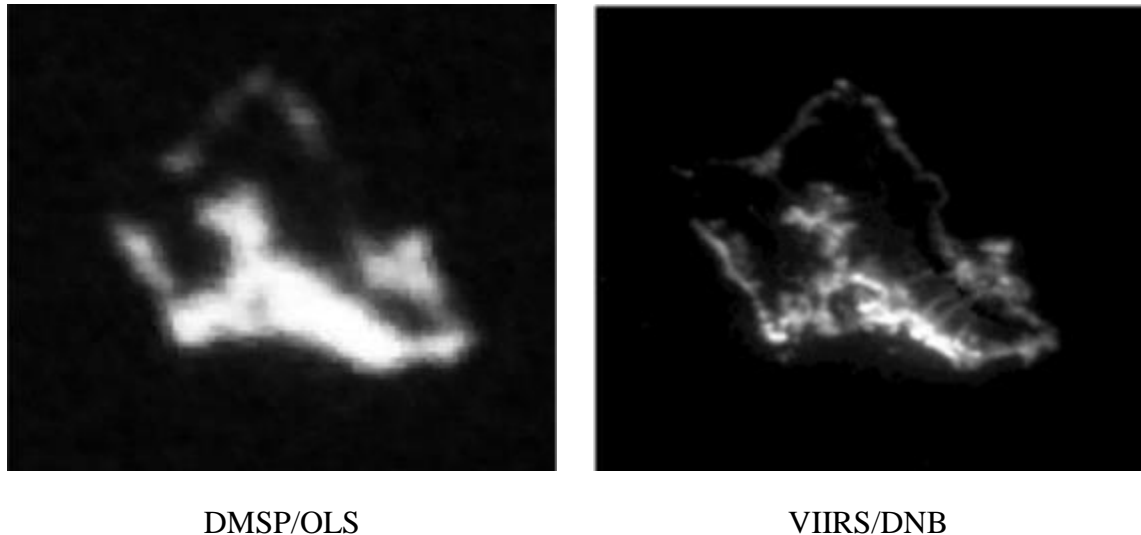


Figura 10. Imágenes visibles compuestas y libres de nubes para días sin iluminación lunar de Oahu (Hawaii, USA) correspondientes a los sensores VIIRS/DNB versus DMSP/OLS (Elvidge et al., 2013).

La banda VIIRS-DNB, como ya se ha dicho, es una banda pancromática que cubre el rango espectral de  $0.50\ \mu\text{m}$  a  $0.90\ \mu\text{m}$ , y comparte la misma trayectoria óptica que las otras bandas del sensor VIIRS. Se trata de una banda diseñada para producir imágenes de las nubes de forma continua durante el día y la noche. DNB también se utiliza para medir las luces nocturnas y la luz solar reflejada en la Luna, con un rango dinámico de 45.000.000:1; este rango le permite detectar tanto las débiles señales de días de cuarto creciente o cuarto menguante lunar, como la luz de día más brillante. Para lograr ese rango dinámico utiliza cuatro segmentos de decenas de CCDs (*charge-coupled device*) con tres posibles aumentos. Esta banda mantiene casi constante 750 m de resolución espacial a lo largo de los 3060 km de franja de suelo observada (*swath*) (NOAA, 2017).

Para obtener una imagen promedio temporal de luces nocturnas, los datos de imágenes de poca luz se filtran para excluir los datos de baja calidad y las características externas a través de una serie de filtros en cascada. El producto de radiancia resultante tiene valores cero en las áreas donde no se detecta iluminación en la superficie.

Durante la noche la iluminación captada desde satélite es muy tenue, con valores del orden de magnitud de  $10^{-9} \text{ W cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ . La banda VIIRS/DNB es sensible a este orden de magnitud, con compensaciones de  $5 \times 10^{-9}$ , que se dieron a partir del 2011 cuando se lanzó el Suomi NPP donde se observaba una bruma gris, afectando al 25 % de las imágenes nocturnas que se obtienen (Mills, y otros, 2013).

### 3.5.2. Fuente de datos

Las principales fuentes de imágenes satelitales nocturnas del planeta son las que proporciona la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y el National Geographical Data Centre (NGDC) de los U.S.A.

El Earth Observation Group (EOG), procesa y pone en abierto todas las imágenes satelitales de iluminación nocturna de la superficie terrestre. Las imágenes se encuentran georeferenciadas, dispuestas en bandas, con resolución de 30 segundos de arco por cada pixel (NOAA, 2017). La resolución espacial para la banda DNB se mantiene en  $750 \times 750 \text{ m}$ , apenas variando con la latitud (Checa, y otros, 2013). Las imágenes que facilita el EOG son imágenes compuestas por el promedio de radiación, y se acompañan de las correspondientes imágenes que indican el número de imágenes promediadas, todas ellas en formato "GeoTiff".

Los Datos comprenden todo el planeta desde la latitud de  $75^\circ \text{ N}$  hasta  $65^\circ \text{ S}$ , se presentan en un conjunto de 6 mosaicos, que se cortan en el Ecuador con 120 grados de latitud. Las imágenes satelitales que contienen los datos de Bolivia se encuentran en dos mosaicos el primero es  $00\text{N}/180\text{W}$  y el segundo es  $00\text{N}/060\text{W}$  (figuras 11 y 12).

Los datos que presenta el EOG se encuentran agrupados en dos composiciones:

- **Composición mensual:** existen ciertas zonas del mundo donde los datos no se pueden obtener fácilmente, debido a la iluminación solar y la presencia de nubes, considerados como datos de mala calidad para ciertos meses del año, esto se ve influenciado por la ubicación y por las características de la zona que se quiere ver, como ser desiertos calientes y helados, regiones tropicales con gran presencia de humedad en la atmosfera. Por ello el OEG recomienda que se use el archivo que presenta "observaciones sin nubes" y que no se asuma un valor de "0" (significa que no se observaron luces) en la imagen de radiancia promedio.

- Composición anual: los datos se presentan en un archivo que no toma en cuenta los datos que son afectados por la luz dispersa. Para este caso el OEG realiza un procesamiento para excluir las luces dispersas y el fondo sin luz. Cada archivo contiene en el nombre siete campos separados por un "\_" y un separador adicional "-", como se muestra en el siguiente ejemplo (NOAA, 2017):

SVDNB\_npp\_20140501-20140531\_global\_vcmcfg\_v10\_c201502061154.avg\_rade9h

Donde:

C1: VIIRS SDR o Producto que hizo el compuesto "SVDNB"

C2: nombre del satélite "npp"

C3: rango de fechas "20140501-20140531"

C4: ROI "global"

C5: nombre abreviado de configuración "vcmcfg"

C6: la versión "v10" es la versión 1.0

C7: fecha / hora de creación

Extensión: avg\_rade9h

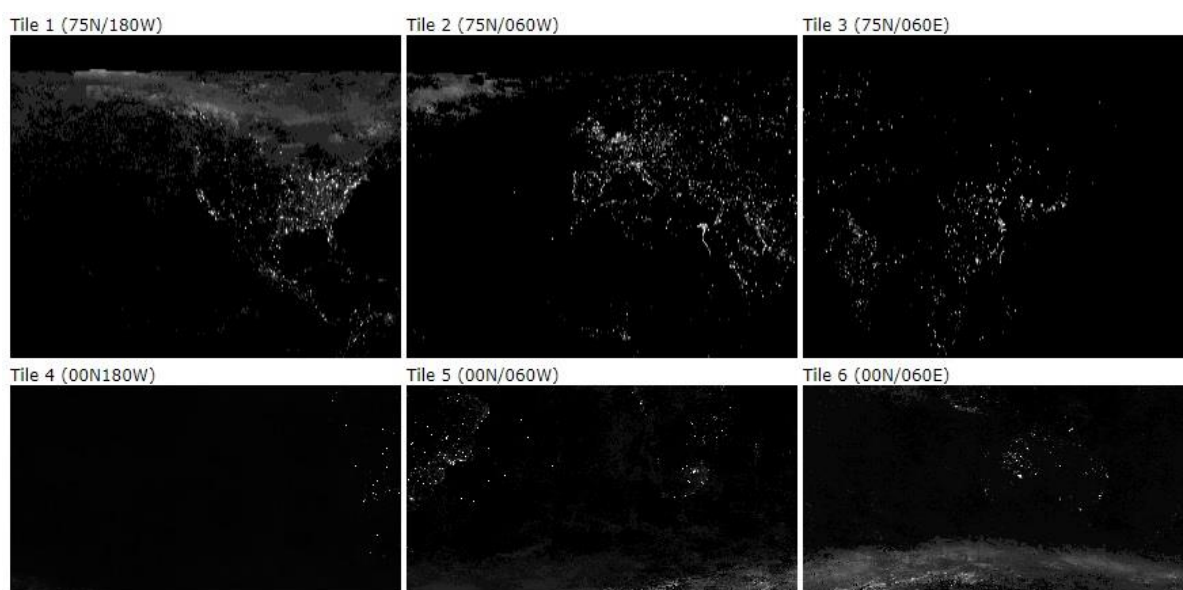


Figura11. Escenas nocturnas del sensor VIIRS/DNB que son de acceso libre.

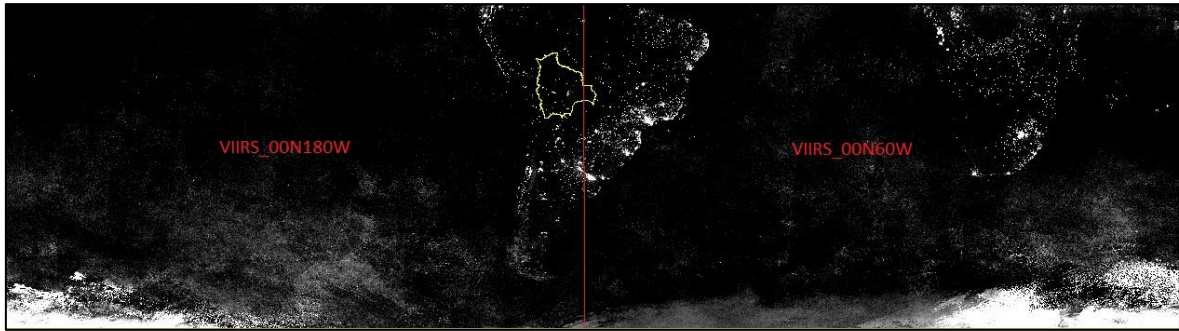


Figura 12. Mosaico de imágenes nocturnas y límite nacional de Bolivia.

## 4. Metodología y datos

### 4.1. Área de estudio

El área de estudio coincide con lo expuesto en el apartado “3.2. Marco geográfico”. Bolivia se halla situada entre los meridianos  $57^{\circ} 26'$  y  $69^{\circ} 38'$  de longitud Oeste y los paralelos  $9^{\circ} 38'$  y  $22^{\circ} 53'$  de latitud Sur, por lo tanto, abarca más de  $13^{\circ}$  geográficos.

### 4.2. Datos socio-económicos y ambientales

La recopilación de información básica se ha realizado a partir de las webs de acceso de los diferentes ministerios de Bolivia, y en especial del Instituto Nacional de Estadística. La información obtenida sólo ha podido ser completa a nivel de departamentos (figura 13), y tan sólo en casos particulares se ha descendido a nivel de provincia o de municipio.



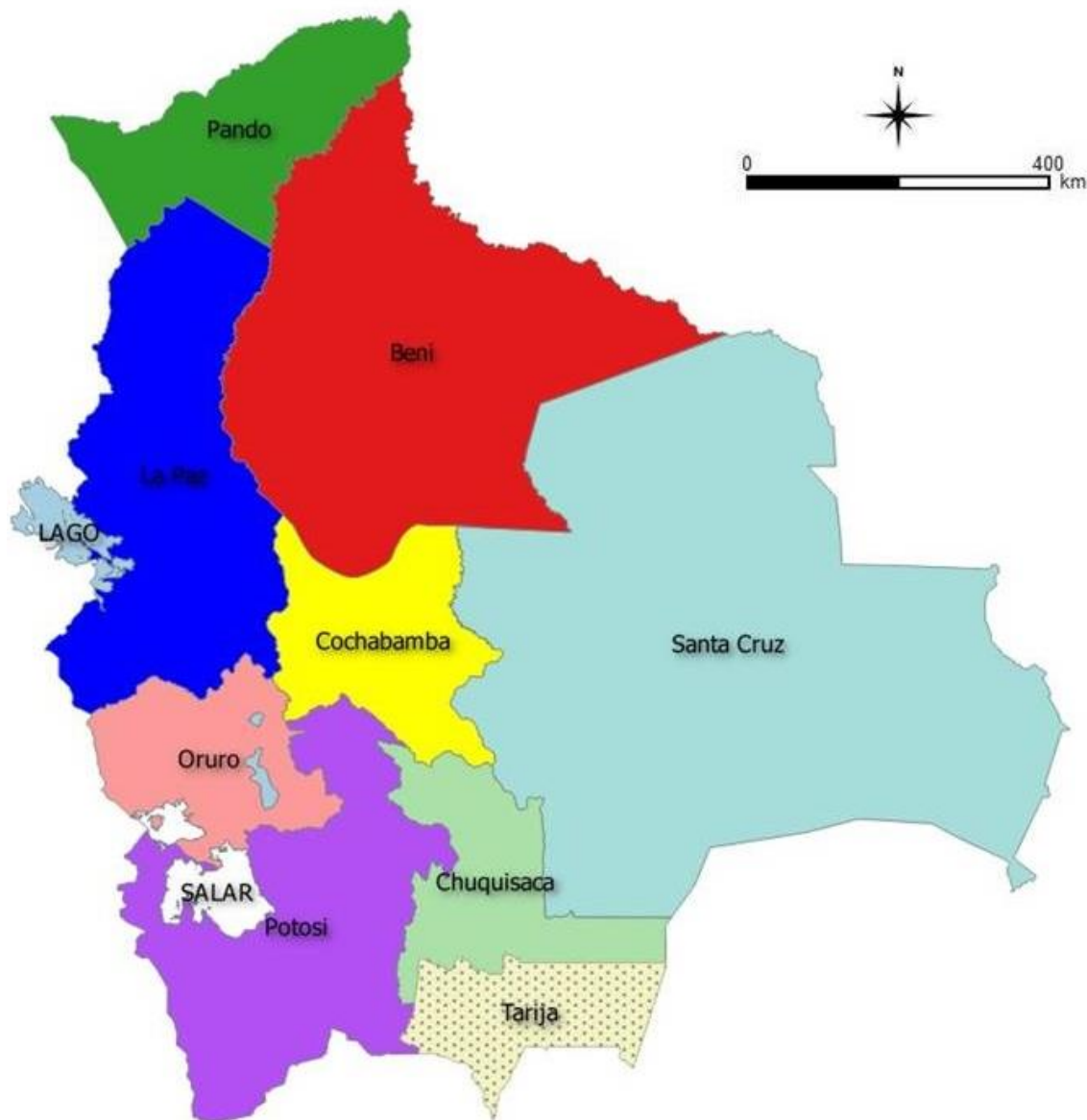


Figura 13. Departamentos y países limítrofes de Bolivia.

La información recolectada se ha organizado en tablas de tal forma que se pudiera manejar más fácilmente. A continuación, se recogen las tablas de datos procesados mediante correlación lineal (en la mayoría de casos) de los diferentes indicadores socio-económicos y ambientales (tablas de la 8 a la 12).

Se tienen todos los indicadores que se quisieron hacer, la población, consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, analizar los factores ya mencionados se analizaron algunos indicadores más.

Tabla 8. Información de indicadores de sostenibilidad básicos de Bolivia.

Departamento	Territorio	Población (2012)	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )	Consumo energético (kWh)	% del consumo nacional	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kTn/año)
<b>BOLIVIA</b>	<b>1098581</b>	<b>10.389.913</b>	<b>9,46</b>	<b>663,35</b>	<b>100,00</b>	<b>18597,94</b>
Santa Cruz	370621	2.776.244	7,49	250,48	37,76	4969,48
La Paz	133985	2.741.554	20,46	158,81	23,94	4907,38
Cochabamba	55631	1.938.401	34,84	121,33	18,29	3469,74
Potosí	118218	798.664	6,75	36,02	5,43	1429,61
Chuquisaca	51524	600.728	11,66	24,54	3,7	1075,30
Tarija	37623	508.757	13,52	12,60	1,9	910,68
Oruro	53588	490.612	9,15	52,67	7,94	878,20
Beni	213564	425.780	1,99	5,64	0,85	762,15
Pando	63827	109.173	1,71	1,26	0,19	195,42

En la tabla 9 se recogen los valores de indicadores estándar sobre la pobreza, en particular se tabula la línea de pobreza y la incidencia. Por línea de pobreza se entiende como el nivel de ingresos mínimo y necesario para tener un nivel de vida apropiado en un determinado lugar, para su cálculo se realiza una valoración de los recursos básicos que se consumen por persona en un año. Los datos de la pobreza se calculan a partir del Índice de pobreza de Foster Greer Thorbecke (FGT0).

Tabla 9. Datos sobre la pobreza en Bolivia (INEBOLIVIA, 2016).

Departamento	% de Población pobre	Línea de pobreza (hab/mes)	Incidencia de pobreza (% FGT0)	Incidencia pobreza (hab. FGT0)
<b>BOLIVIA</b>		<b>6932,1</b>		<b>4.541.604</b>
Santa Cruz	35,5	757,4	35,6	995.568
La Paz	46,3	1243,4	46,3	1.269339
Cochabamba	45,5	762,1	46,6	846.111
Potosí	49,7	593,6	61,1	517.955
Chuquisaca	54,5	777,8	67,2	401.703
Tarija	34,6	755,3	20,1	101.675
Oruro	47,0	551,7	33,6	168.891
Beni	56,4	657,0	44,1	190.565
Pando	58,8	833,8	43,0	49.797

La figura 14 muestra la distribución de la pobreza a nivel de municipio, los valores van en porcentajes que van del 1 al 100 %, los valores que se encuentren cercanos al 100 %

representan a los municipios con mayor porcentaje de población que se encuentra en pobreza extrema. La población que se encuentra en esta situación no cuenta con los recursos para cubrir el costo mínimo de alimento y servicios básicos en un determinado tiempo. Curiosamente los municipios con mayor pobreza se encuentran en Potosí, seguido de La Paz. Por el contrario, los departamentos con mayor riqueza o menor pobreza son Santa Cruz y Cochabamba.

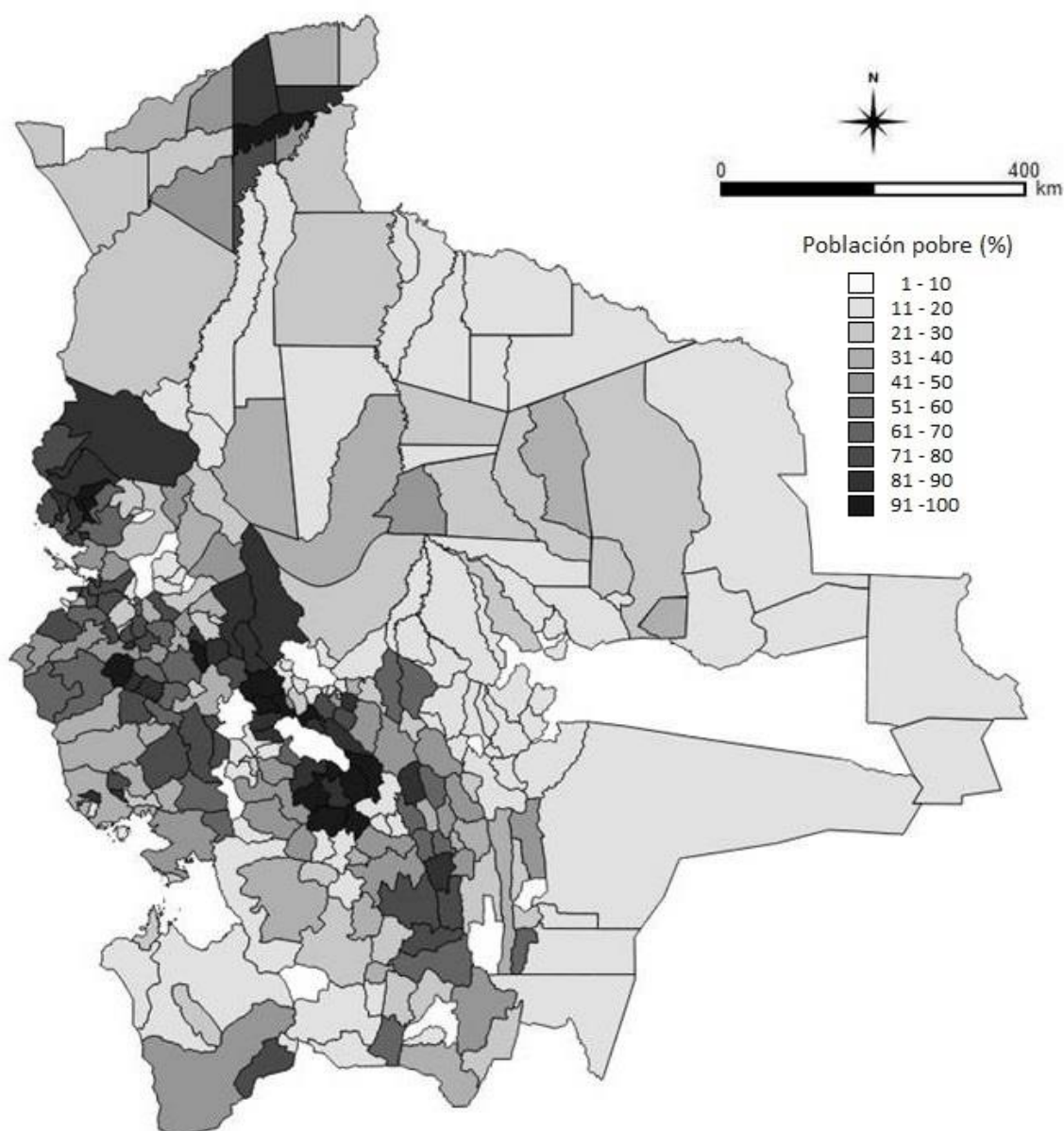


Figura 14. Porcentajes de pobreza a nivel de municipio.

En la tabla 10 se muestran datos de analfabetismo y el nivel de educación. Los niveles de niveles de educación se ven afectados por diversos factores, como la procedencia, las zonas rurales tienen mayores niveles de analfabetismo por la inaccesibilidad a la educación y en

las zonas urbanas la educación es mas accesible. En los últimos años gracias a los acuerdos y proyectos que se firmaron para cumplir los objetivos del Desarrollo Sostenible y los Objetivos del Milenio, se logro disminuir las tasas de analfabetismo.

Tabla 10. Datos relacionados con la educación.

Departamento	Tasa de analfabetismo total	Tasa analfabetismo hombre	Tasa de analfabetismo mujer	Analfabetismo (hab)	Insuficiencia educación (%)	Insuficiencia en educación (hab)
<b>BOLIVIA</b>	<b>11,02</b>	<b>2,89</b>	<b>8,13</b>		<b>405,0</b>	<b>4.458.492</b>
Santa Cruz	5,76	1,90	3,86	130423	37,6	1.043.867
La Paz	9,47	1,97	7,50	163035	38,9	1.066.464
Cochabamba	11,58	2,78	8,80	130423	46,2	895.541
Potosí	26,09	6,70	19,39	89113	57,6	460.030
Chuquisaca	24,07	7,82	16,25	89113	58,3	350.224
Tarija	12,62	3,85	8,77	27839	49,3	250.817
Oruro	8,46	1,56	6,90	33685	36,1	177.110
Beni	8,15	3,05	5,10	25905	39,8	169.460
Pando	5,98	2,29	3,69	6039	41,2	44.979

La tabla 11 muestra datos que hacen referencia a la economía del país y de los departamentos del mismo.

Tabla 11. Datos económicos.

Departamento	PIB (% de participación)	Crecimiento PIB (%) 2001-2012	PIB/cápita (\$)	Índice Carga económica n/100	Índice Dependencia n/100
<b>BOLIVIA</b>	<b>100</b>	<b>5,12</b>	<b>3.125</b>	<b>6,40</b>	<b>10,91</b>
Santa Cruz	28,21	8,47	2.060	0,69	1,18
La Paz	25,18	4,66	2.772	0,60	1,00
Cochabamba	14,20	3,80	2.749	0,71	1,19
Potosí	5,87	-7,06	3.337	0,73	1,27
Chuquisaca	4,53	8,38	3.165	0,83	1,37
Tarija	13,53	9,64	2.307	0,65	1,07
Oruro	5,07	-1,80	2.399	0,74	1,22
Beni	2,51	2,61	3.200	0,72	1,28
Pando	0,90	2,53	5.033	0,73	1,33

La tabla 12 muestra datos que hacen referencia al nivel o calidad de vida de las personas dentro de cada departamento, se basan en los servicios básicos como el acceso a agua potable, alcantarillado, electricidad y salud (acceso a los centros de salud y los servicios que prestan).

Tabla 12. Datos de necesidades básicas insatisfechas.

Departamento	Inadecuada atención sanitaria (%)	Inadecuada atención sanitaria (hab)	Inadecuados servicios energéticos (%)	Inadecuados servicios energéticos (hab)	Inadecuados servicios de agua y saneamiento (%)	Inadecuados servicios de agua y saneamiento (hab)
<b>BOLIVIA</b>	<b>211,1</b>		<b>303,0</b>		<b>433,1</b>	<b>4.453.043</b>
Santa Cruz	19,3	535.815	15,3	424.765	35,2	977.237
La Paz	33,3	912.937	27,3	748.444	41,6	1.140.486
Cochabamba	24,8	480.723	25,4	492.353	44,3	858.711
Potosí	31,1	248.384	49,3	393.741	60,9	486.386
Chuquisaca	21,3	127.955	45,4	272.730	49,3	296.158
Tarija	13,0	66.138	24,1	122.610	29,4	149.574
Oruro	27,8	136.390	29,5	144.730	52,4	257.080
Beni	20,4	86.859	37,3	158.815	49,4	210.335
Pando	20,1	21.943	49,4	53.931	70,6	77.076

#### 4.3. Imágenes satelitales nocturnas

Para determinar qué imágenes satelitales nocturnas había que descargar, se revisó la información meteorológica que se encuentra en la base de datos del SENAMHI, y se determinó trabajar con las imágenes que contenían menor cantidad de humedad relativa en el aire. Las imágenes que se tomaron son las del año 2012, en particular la imagen mensual de julio de 2012, la cual presentaba más días de datos que la de diciembre, tal como aconsejaban los datos del SENAMHI.

Después de descargar los archivos 00N/180W y 00N/060W de julio de 2012, se unieron los dos mosaicos en QGIS para disponer de todo el territorio de Bolivia en una sola imagen. Se cargaron las imágenes en el software y se seleccionó la instrucción “*Raster → Miscelania → Combinar*”.

Una vez completo el conjunto de los dos mosaicos se recortó la extensión de Bolivia, nuevamente con el software QGIS y, en este caso, con la instrucción “*Raster → Extracción*”.

→ *Clipper*". Antes que se realizara un nuevo corte (por departamentos, por provincias y/o por municipios) se realizó un filtro del mapa de iluminación de Bolivia para eliminar la iluminación que no es artificial como la luz de la Luna, relámpagos, y otros fenómenos. La iluminación de fondo que se observó en el Salar de Uyuni sirvió para filtrar el ruido, y a partir de ese momento ya se podía segmentar la imagen por los límites administrativos que se deseara. Recordar que los valores asociados a cada píxel son valores de luminosidad con unidades en  $\text{nW}/\text{cm}^2/\text{sr}$ .

## 5. Resultados

Una vez que se obtuvieron los límites administrativos (nacional, departamental, municipal) de Bolivia en formato *shapefile*, se tabularon los valores de la iluminación nocturna. En particular, se han coleccionado los datos: media, desviación estándar, máximo y mínimo de iluminación. Dado que la imagen fue filtrada para eliminar ruido, el valor mínimo siempre tiene el valor cero.

Paralelamente se tabuló la información socio-económica y ambiental, junto a cálculos previos de algunos indicadores. Después de procesar la información sobre la iluminación de mapas satelitales nocturnos) y la información orientada a caracterizar la sostenibilidad de Bolivia (artículos y revistas científicas, noticias y fuentes de información nacional de Bolivia), se inició con el proceso de análisis a partir del grado de correlación que tienen o no.

### 5.1. Resultados del manejo de las imágenes satelitales

La figura 15 permite diferenciar las zonas que presentan iluminación nocturna en cada uno de los 9 departamentos de Bolivia en el año 2012.

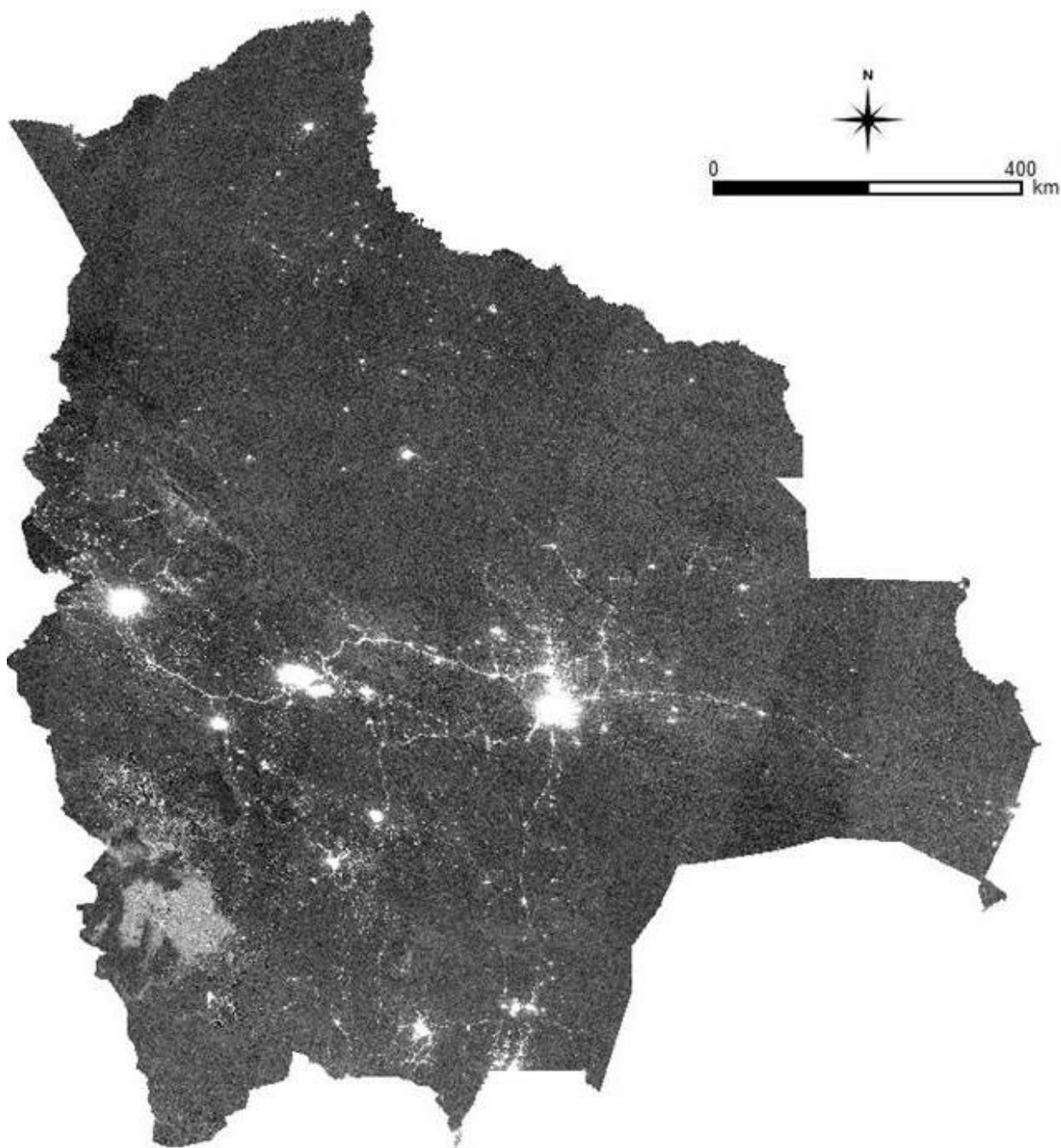


Figura 15. Imagen satelital del sensor VIIRS/DNB de julio de 2012 de Bolivia antes de ser filtrado el ruido.

Tras haber hecho el primer recorte de la imagen, se identificaron zonas en las que existía valores de iluminación que no deben de cuantificar, aunque las imágenes que se descargaron de la NOAA tienen un pre-filtrado, este no fue suficiente. Las zonas que no deberían de mostrar ningún valor de iluminación son los salares y algunos lagos (figura 16).

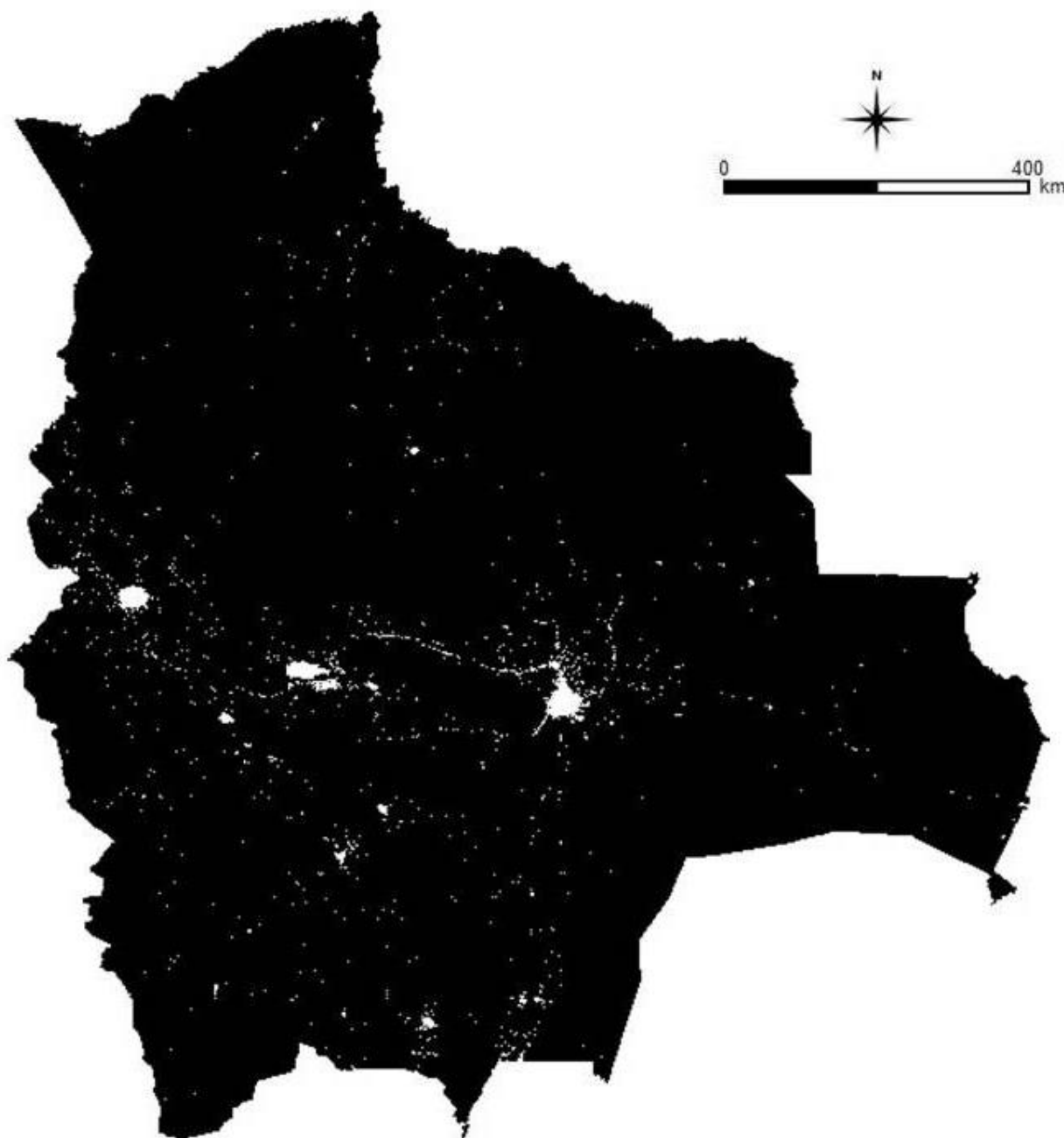


Figura 16. Mapa filtrado de iluminación de Bolivia, 2012.

Las siguientes figuras muestran los datos de iluminación de cada uno de los departamentos, utilizando una contracción lineal de niveles de gris y asociando una paleta de colores de 5 niveles.



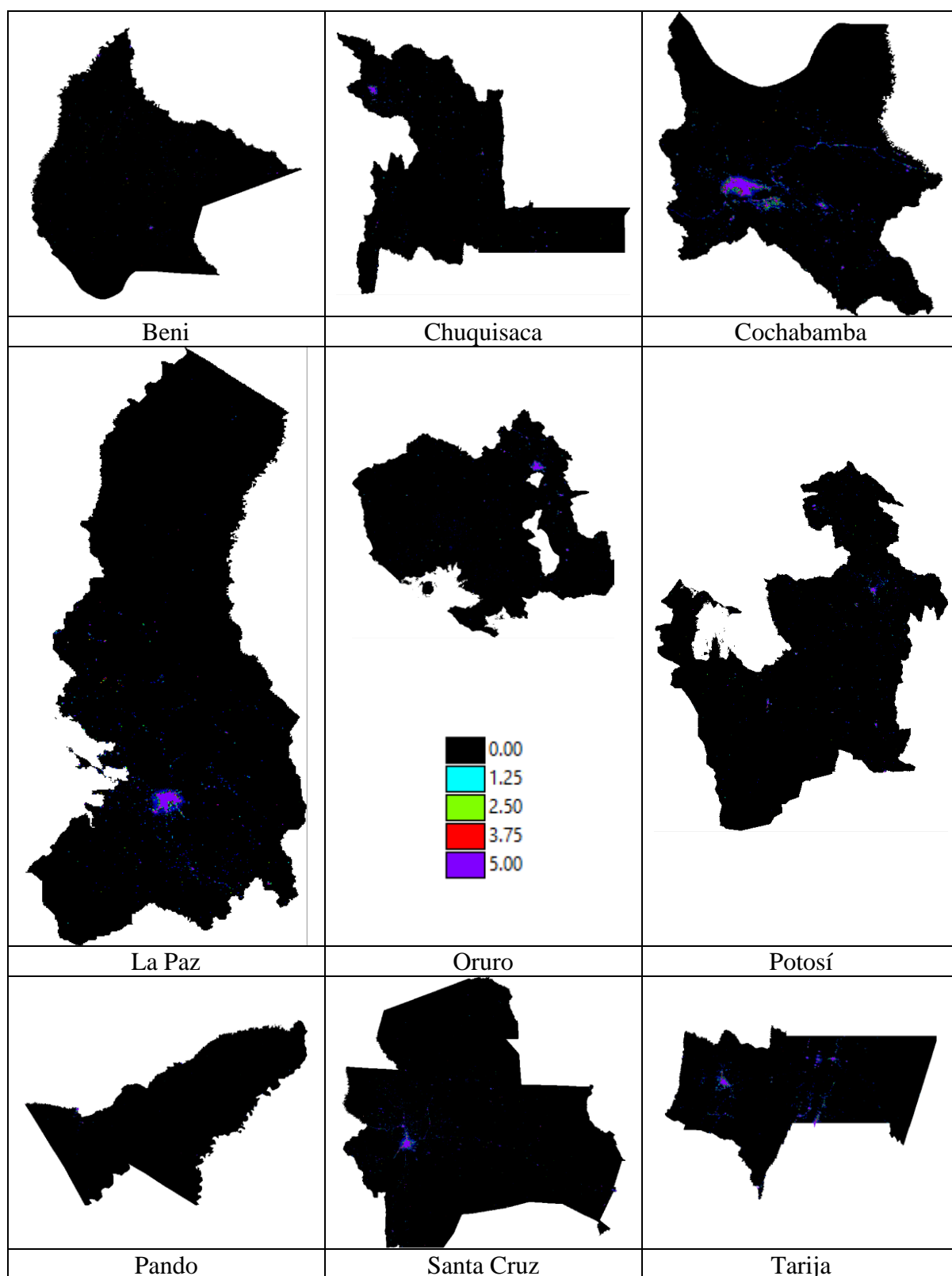


Figura 17. Iluminación nocturna media en los departamentos de Bolivia en julio de 2012.

Haciendo una comparación entre el mapa de iluminación de Bolivia y el mapa que contenía las ciudades y capitales de Bolivia, se vio una relación entre los puntos de iluminación y las capitales de cada uno de los departamentos

En la tabla 13 se muestran los datos de iluminación identificados para los departamentos de Bolivia.

Tabla 13. Estadísticas de pixeles de iluminación.

<b>Iluminación</b>			
Departamento	Max	Mean	StDev
<b>BOLIVIA</b>	<b>125,48</b>	<b>0,04</b>	<b>1,16</b>
Santa Cruz	50,08	0,04	1,04
La Paz	86,75	0,08	1,96
Cochabamba	354,51	0,20	3,18
Potosí	47,02	0,02	0,56
Chuquisaca	3,39	0,00	0,07
Tarija	290,63	0,10	2,09
Oruro	134,46	0,06	1,59
Beni	30,20	0,01	0,40
Pando	4,44	0,00	0,06
Salar	2,03	0,00	0,02

## 5.2. Resultados del manejo de la información socio-económica y ambiental

En el anexo V se recogen las gráficas obtenidas en el estudio de las correlaciones entre los diferentes indicadores socio-económicos cuyos valores se han mostrado como datos registrados de Bolivia, y las correspondientes iluminaciones medidas a partir de las imágenes nocturnas procesadas.

Las correlaciones que se han establecido han tratado de relacionar:

- Factores referentes a la educación en Bolivia
- Factores relacionados con la energía y la educación
- Factores relacionados con la salud y el bienestar
- Factores que influyen en la calidad del agua y saneamiento
- Factores referentes en el crecimiento económico

Si se recogen todos los datos de correlación de las gráficas del anexo V en una tabla se obtiene la tabla 14. En esta tabla se indican las correlaciones que tienen cada uno de los indicadores que se analizaron, algunos de los factores tenían mayor grado de correlación que otros.

Tabla 14. Correlación entre los diversos indicadores utilizados.

Indicadores	Tipo de correlación	R	R <sup>2</sup>	Correlación
Densidad poblacional	Lineal	0,92	0,84	Correlación positiva muy fuerte
Incidencia de la pobreza	Potencial	0,51	0,26	Correlación positiva considerable
Línea de pobreza	Polinómica	0,29	0,08	Correlación positiva media
Analfabetismo	Potencial	0,58	0,33	Correlación positiva considerable
Tasa de analfabetismo	Lineal	0,18	0,031	Correlación positiva media
Insuficiencia en la educación (hab.)	Potencial	0,68	0,46	Correlación positiva considerable
Insuficiencia en educación (%)	Lineal	0,10	0,011	Correlación positiva media
Consumo energético (kWh)	Potencial	0,71	0,51	Correlación positiva considerable
Emisiones de CO <sub>2</sub> (kTn/año)	Potencial	0,71	0,50	Correlación positiva considerable
Inadecuada atención sanitaria (hab.)	Polinómica	0,52	0,27	Correlación positiva considerable
Inadecuada atención sanitaria (%)	Logarítmica	0,20	0,039	Correlación positiva media
Inadecuados servicios de agua y saneamiento (%)	Polinómica	0,72	0,52	Correlación positiva considerable
Inadecuados servicios de agua y saneamiento (hab.)	Lineal	0,18	0,03	Correlación positiva media
Inadecuados servicios energéticos (%)	Polinómico	0,78	0,61	Correlación positiva considerable
Inadecuados servicios energéticos (hab.)	Potencial	0,56	0,32	Correlación positiva considerable
Crecimiento PIB (%) 2002-2012	Lineal	0,18	0,03	Correlación positiva media
PIB per cápita (\$)	Logarítmica	0,81	0,65	Correlación positiva considerable
Índice de dependencia n/100	Polinómica	0,93	0,86	Correlación positiva muy fuerte
Índice de carga económica n/100	Polinómica	0,76	0,58	Correlación positiva considerable

La densidad poblacional, el PIB per cápita, el índice de dependencia son los indicadores que presentan una mayor correlación. Los que siguen con una correlación considerable son los factores de consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub>, inadecuados

servicios energéticos y sanitarios, inadecuada educación e inadecuados servicios básicos. En las conclusiones se hacen más interpretaciones de estos datos.

Si particularizamos el análisis, con los datos disponibles, a nivel de provincia ¿se pueden encontrar mejores datos de correlación? Se ha procedido a tratar de responder con el caso del departamento de Cochabamba y sus 16 provincias (figura 18). Los datos de iluminación, para cada una de estas provincias, se recoge en la tabla 17 y se visualizan (aunque no todas ellas a la misma escala espacial) en la figura 17.

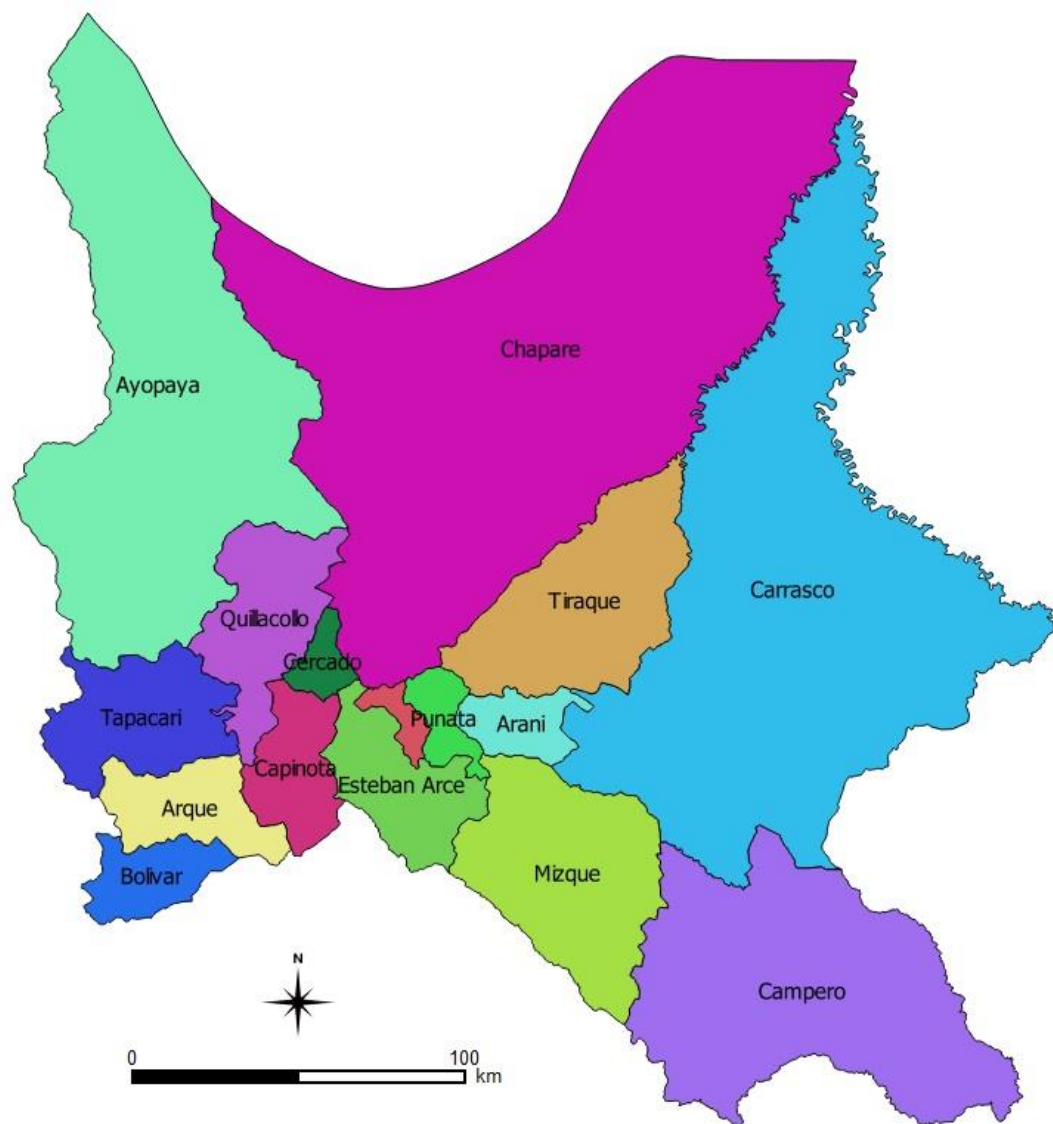


Figura 18. Provincias del departamento de Cochabamba.

Las siguientes figuras muestran los datos de iluminación de cada uno de los departamentos, utilizando una contracción lineal de niveles de gris y asociando una paleta de colores de 5 niveles.

Tabla 17. Datos de iluminación de Cochabamba.

Localización	Max	Mean	StDev	Sup (km <sup>2</sup> )	Población (hab)	Densidad (hab/km <sup>2</sup> )
Araní	11,39	0,08	0,47	506	25.645	50,68
Arque	2,13	0,01	0,06	1.077	29.422	27,32
Ayopaya	6,86	0,01	0,09	9.620	66.851	6,95
Bolívar	3,99	0,01	0,11	413	10.301	24,94
Campero	38,08	0,02	0,46	5.550	44.116	7,95
Capinota	27,17	0,12	0,94	1.495	27.385	18,32
Carrasco	354,51	0,12	4,00	15.045	167.975	11,16
Cercado	156,63	16,53	25,27	391	631.304	1614,59
Chapare	62,40	0,09	1,47	12.445	258.774	20,79
Esteban Arce	26,71	0,07	0,65	1.245	34.589	27,78
German Jordán	37,96	1,39	3,34	305	36.079	118,29
Mizque	10,21	0,01	0,19	2.730	45.635	16,72
Punata	21,25	0,62	1,66	850	47.528	55,92
Quillacollo	91,03	1,72	6,67	720	401.317	557,38
Tapacarí	9,00	0,02	0,20	1.500	34.050	22,70
Tiraque	14,40	0,04	0,40	1.739	38.435	22,10
<b>COCHABAMBA</b>				<b>55.631</b>	<b>1.899.406</b>	<b>34,14</b>

La figura 19 muestra los datos de iluminación, esta vez a nivel de municipio, se utiliza una contracción lineal de niveles de grises y se la asocia con una paleta de 5 niveles, como se hizo en las imágenes de iluminación de los departamentos de Bolivia.

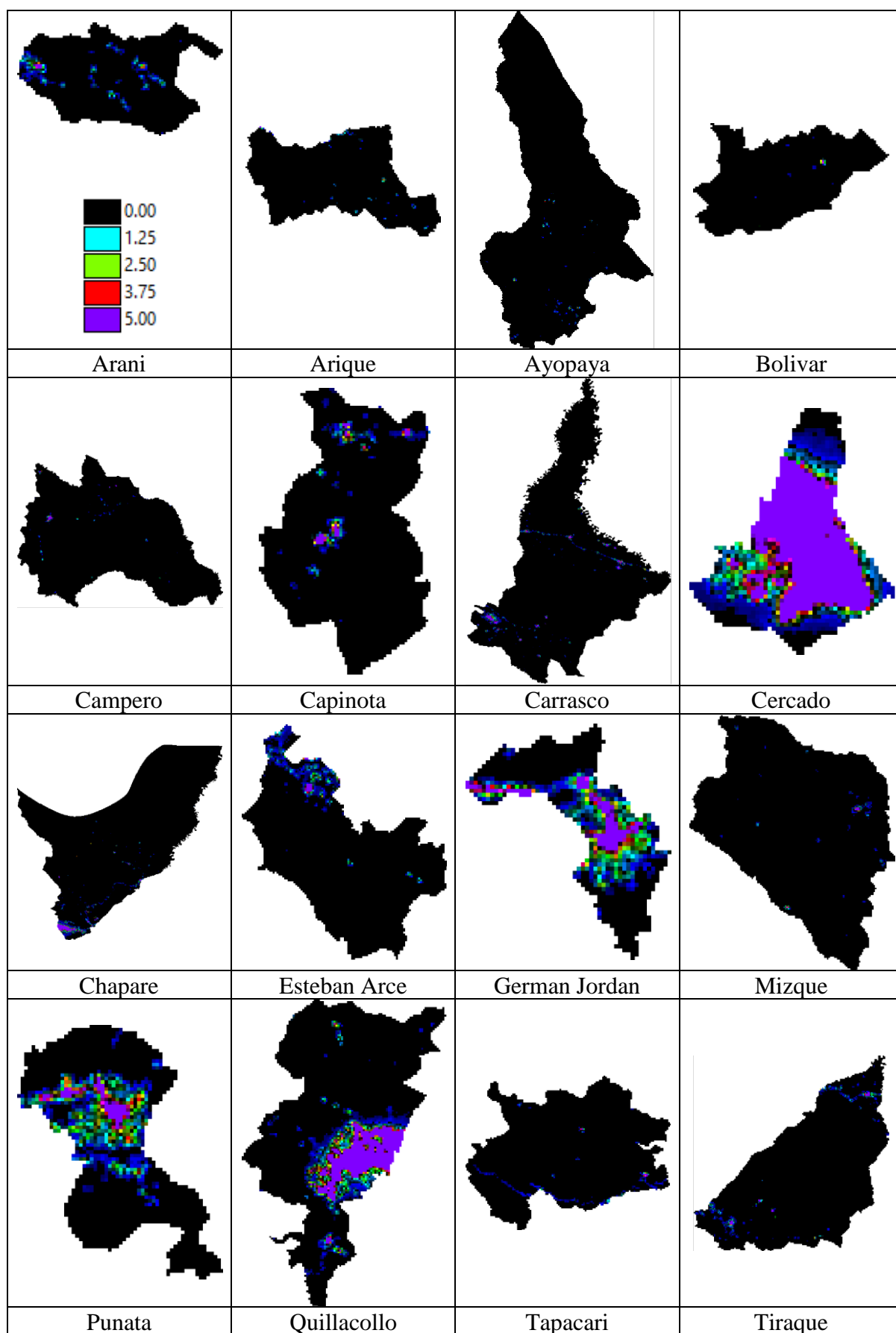


Figura 19. Mapas de iluminación por provincias de Cochabamba.

La grafica que se obtuvo a partir de la relación entre los datos de iluminación y los indicadores de sostenibilidad se presentan en la figura 20. La correlación que se presenta es una positiva alta, la cual nos indica que la iluminación se encuentra directamente relacionada con la densidad de la población de los departamentos.

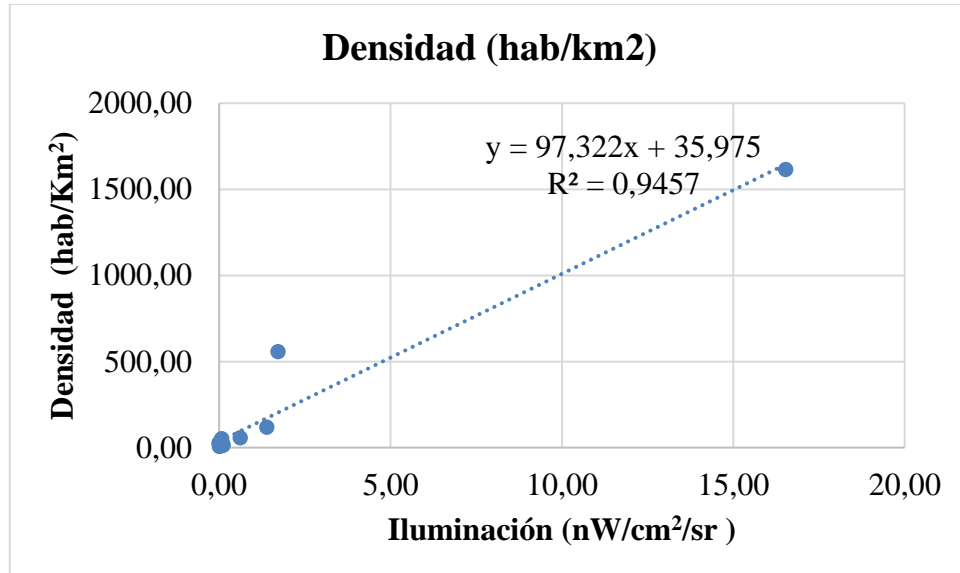


Figura 20. Grafica de correlación de Cochabamba.

Como hacer un análisis de la pobreza extrema de cada uno de los municipios es algo complicado, se tomó solo uno de los departamentos para hacer el análisis. Si tenemos en cuenta los datos de pobreza a nivel de municipio (327) para los municipios del departamento del Beni (19), tal como se muestra en el anexo IV (Aguilar, Reynaga y Yupanqui, 2008), se obtiene una relación con la iluminación nocturna como muestra la figura 21.

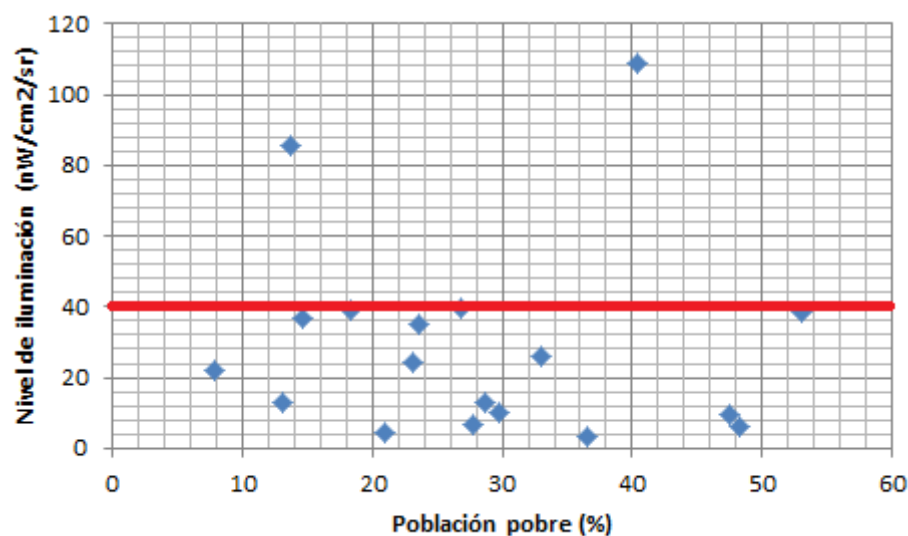


Figura 21. Relación entre pobreza e iluminación en los municipios del departamento Beni.

Se observa que el nivel de iluminación máximo es independiente del nivel de pobreza extrema del municipio, salvo excepciones, lo cual puede estar relacionado con la legislación existente y/o el tipo de lámpara que se utilicen.

## 6. Conclusiones

1. La densidad poblacional de cada uno de los departamentos tiene una correlación positiva muy fuerte con los valores de iluminación que se obtuvieron para todo el país, la correlación que presenta es del 0,92. Esta relación es lógica, porque si se tiene mayor población en una zona determinada esta tendrá más iluminación artificial, es decir que a mayor población mayor será la iluminación que presenta la zona. La distribución de la población no es uniforme por lo que se ven concentraciones de iluminación y estas coinciden con las capitales de los departamentos. En el caso de la pobreza se obtuvieron valores positivos, en la incidencia de la pobreza se obtuvo una correlación potencial del 0,51 y aunque este no es valor muy elevado se cree que es una correlación positiva considerable, por lo que se puede decir que la iluminación si se encuentra relacionada con el factor de la pobreza, pero también se debe de resaltar que existen personas que se encuentran en esta situación que viven en las zonas donde los valores de iluminación eran elevados.
2. Existe una correlación entre la iluminación y el consumo energético, la correlación que se encontró es del 0,71. Las zonas en las que se consumen más energía se encuentran en las zonas donde se tiene mayor concentración de datos iluminación y por el contrario zonas donde se consume menos energía presentan menos concentración de iluminación, además de que corresponde con el sistema de distribución eléctrica del país.
3. En el análisis de producción de CO<sub>2</sub>, se obtuvo una correlación del 0,71 lo que nos indica que la relación entre estos factores es positiva, es decir que entre mayor sea la concentración y producción de CO<sub>2</sub> que se emite mayor será la iluminación de la zona, además de que esto también se correlaciona con la densidad poblacional. Por tanto, a mayor densidad poblacional mayor será la emisión de CO<sub>2</sub> y mayores serán los valores de iluminación obtenidos.
4. Pese a que los valores de iluminación que se obtuvieron para Bolivia son muy variados y se distinguen claramente puntos donde se concentran (capitales y ciudades importantes como el Alto, La Paz), también se identificaron valores de iluminación



que coinciden con las carreteras principales del país y las redes de transporte de electricidad y las fronteras por donde se exporta materias primas.

5. La iluminación que se detecta con el sensor VIIRS en el satélite Suomi NPP, se encuentra en un rango de detección de luz visible, cierta parte de la iluminación no se detecta y esta coincide con la iluminación artificial no led, pero en este caso se detecta gran parte de la iluminación. En Bolivia se está implementando un plan de manejo eficiente y ahorro de energía, este se basa en primera instancia en la sustitución de los focos tradicionales por los de tipo led, este puede ser un problema a futuro porque el sensor ya no podrá captar la iluminación, por lo que se tendrá menor información de sobre la iluminación de Bolivia.

## 7. Bibliografía

Aguilar, R., Reynaga, R., y Yupanqui, F. (2008). La educación en Bolivia. Indicadores y estadísticas municipales. Ministerio de Educación y Culturas. Unidad de Planificación [en línea]. [Fecha de consulta: 5 julio 2018]. Disponible en: <https://www.oei.es/historico/noticias/spip.php?article1674>

Argote, A.H. (2015). ¿Qué tanto conocemos de nuestras Áreas Protegidas nacionales en Bolivia? Acta Nova, Vol. 7. Cochabamba: 24 de abril de 2015. ISSN 1683-0789.

BoliviaInforma (2013). Mapa político de Bolivia. *Imágenes de Bolivia* [en línea]. [Fecha de consulta: 19 febrero 2018]. Disponible en: <http://reyquibolivia.blogspot.com.es/2012/10/mapa-politico-de-bolivia.html>.

Bolivian (2015). Bolivia. *Fisiografía* [en línea]. [Fecha de consulta: 16 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.bolivian.com/bolivia/fisiografia.html>.

Bravo, R. y Zapata D. (2005). Las metas del Milenio y la igualdad de género. El caso de Bolivia. Naciones Unidas; serie Mujer y desarrollo, n, 71.

Cao, Ch. & Bai. Y. (2014), Quantitative Analysis of VIIRS DNB Nightlight Point Source for Light Power Estimation and Stability Monitoring. Remote Sensing, 6, 11915-11935. doi:10.3390/rs61211915.

CDRN Bolivia (2004). *Mapas en JPG*. Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia [en línea]. [Fecha de consulta: 22 febrero 2018]. Disponible en: <http://cdrnbolivia.org/cdrnb/files-jpg/vegetacion.jpg>.

CDRN Bolivia (2004). *Mapa de Temperaturas de Bolivia*. Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia [en línea]. [Fecha de consulta: 17 febrero 2018]. Disponible en: <http://cdrnbolivia.org/cdrnb/files-jpg/tempera.jpg>.

Ceadl.blogspot.com.es (2015). *La energía del ciclo cobinado se multiplicará por 20 en 5 años*. Observatorio Boliviano de los recursos naturales [en línea]. [Fecha de consulta: 17

abril 2018]. Disponible en: <http://recursosnaturales-ceadl.blogspot.com.es/2015/08/la-energia-del-ciclo-combinado-se.html>.

Charry, V. (2017). Sites.google.com [en línea]. [Fecha de consulta: 15 febrero 2018]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/valentinacharrybolivia/economia/principal-actividad-economica>.

Checa, J., y otros (2013). La electrificación y el territorio. Historia y futuro. *Energía y proceso de Urbanización en España. Nuevas perspectivas de investigación a partir de imagen satelital nocturna de la tierra* [en línea]. [Fecha de consulta: 1 abril 2018]. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/Electr-y-territorio/ChecaGoma.pdf>.

Dresner, S. (2009), Els principis de la Sostenibilitat. Edicions UPC, pag. 85.

Durán, G. (2001). Medir la sostenibilidad. Indicadores económicos, ecológicos y sociales [en línea]. [Fecha de consulta: 11 mayo 2018]. Disponible en: <http://files.urbanismo3.webnode.com.co/200000001-5bbe75cb7a/MEDIR-SOSTENIBILIDAD.pdf>.

Educa.com (2016). *Mapa hidrográfico de Bolivia*. Hidrografía de Bolivia [en línea]. [Fecha de consulta: 22 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.educa.com.bo/content/hidrografia-de-bolivia>.

Elvidge, C.D., Keith D.M., Tuttle B.T., Baugh K.E. (2010), Spectral Identification of Lighting Type and Character, *Sensors*, 10(4), 3961-3988. ISSN: 1424-8220. doi:10.3390/s100403961

Elvidge, C.D., Baugh, K., Zhizhin, M., Hsu, F.C. (2013), Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network 2013*, v. 35, p. 62-69. ISSN 2227-3026. doi: [dx.doi.org/10.7125/APAN.35.7](https://doi.org/10.7125/APAN.35.7)

ENDE (2018). Ende Cooperación. Sector eléctrico en Bolivia. [en línea]. [Fecha de consulta: 13 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.endetransmision.bo/etr/index.php/nosotros/sector-electrico-en-bolivia>.

FNDR (2018). Fondo Nacional de Desarrollo Regional. Ministerio de Planificación del desarrollo [en línea]. [Fecha de consulta: 13 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.fndr.gob.bo/es/bolivia>.

Garcia-Saenz, A., Sánchez de Miguel, A., Espinosa, A., Valentin, A., Aragonés, N., Llorca, J., Amiano, P., Martín Sánchez, V., Guevara, M., Capelo, R., Tardón, A., Peiró-Perez, R., Jiménez-Moleón, J.J., Roca-Barceló, A., Pérez-Gómez, B., Dierssen-Sotos, T., Fernández-Villa, T., Moreno-Iribas, C., Moreno, V., García-Pérez, J., Castaño-Vinyals, G., Pollán, M., Aubé, M., and Kogevinas, M. (2018), Evaluating the Association between Artificial Light-at-Night Exposure and Breast and Prostate Cancer Risk in Spain (MCC-Spain Study). *Environ Health Perspect*, doi: 10.1289/EHP1837

GeoBolivia (2015). *Mapa del mes de abril 2015*. GeoBolivia [en línea]. [Fecha de consulta: 1 marzo 2018]. Disponible en: <http://geo.gob.bo/portal/?GeoBolivia-Mapa-del-mes-Abril-2015>.

ICEES (2013). *Censo Nacional de Población y Vivienda, Datos oficiales: Habitantes en Bolivia*. Instituto de Ciencia, Economía, Educación y Salud [en línea]. [Fecha de consulta: 18 febrero 2018] Disponible en: <http://www.icees.org.bo/2013/01/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2012-datos-oficiales-habitantes-en-bolivia/>.

INE (2018). *Geografía de Bolivia*. Instituto Nacional de Estadística [en línea]. [Fecha de consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.ine.gob.bo/index.php/principales-indicadores/item/237-geografia-de-bolivia>.

INEBOLIVIA (2016). SIGED 2.0. *Catalogo de datos* [en línea]. [Fecha de consulta: 19 abril 2018]. Disponible en: <http://geo.ine.gob.bo/cartografia1/>.

Jointmission.gsfc.nasa (2017). *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)*. NASA Join Polar Satellite System [en línea]. [Fecha de consulta: 2 marzo 2018]. Disponible en: <https://jointmission.gsfc.nasa.gov/viirs.html>.

Melendres, M.A. (2017). *Bolivia ya tiene más de 11 millones de habitantes*. EL DEBER [en línea]. [Fecha de consulta: 23 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.eldeber.com.bo/bolivia/Bolivia-ya-tiene-mas-de-11-millones-de-habitantes-20170408-0055.html>.

Mills, S., Weiss, S. y Liang, C. (2013). *Caracterización y corrección de la luz difusa de la banda diurna/ nocturna (DNB) VIIRS*. Proceedings de Spie [en línea]. [Fecha de consulta: 18 marzo 2018]. Disponible en: <http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2023107>. 10.1117 / 12.2023107.

NOAA (2017). *Earth Observation Group*. National Center for Environmental Information [en línea]. [Fecha de consulta: 23 marzo 2018]. Disponible en: <https://ngdc.noaa.gov/eog/index.html>.

NOAA (2017), Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). Sensor Data Record (SDR) User's Guide, Version 1.3 . NOAA Technical Report NESDIS 142. Washington, D.C. pag.33. Disponible en: <https://cs.star.nesdis.noaa.gov/NCC/VIIRS>.

ONU (2015), *Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible* [en línea]. [Fecha de consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

PNUD (2017). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Objetivos de Desarrollo Sostenible* [en línea]. [Fecha de consulta: 15 mayo 2018]. Disponible en: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>.

RedBoliviaMundo (2017). Geografía, Demografía y clima de Bolivia [en línea]. [Fecha de consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.boliviamundo.net/geografia-demografia-y-clima-de-bolivia/>.

Rocha, O.O. (2013). *Fortalecimiento de la gestión participativa para el desarrollo sostenible de los Andes*. Diagnostico de la zona montañosa de Bolivia [en línea]. [Fecha de consulta: 19 febrero 2018]. Disponible en: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/mountain\\_partnership/doc/TCP\\_Andes/Diagnostico\\_monta%C3%B1as\\_de\\_Bolivia\\_11\\_noviembre\\_2013\\_borrador.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/mountain_partnership/doc/TCP_Andes/Diagnostico_monta%C3%B1as_de_Bolivia_11_noviembre_2013_borrador.pdf).

S.a. (2017). Informe de áreas protegidas en Bolivia 2017. *Regulación de áreas protegidas* [en línea]. [Fecha de consulta: 18 marzo 2018]. Disponible en: <https://obccd.org/2017/09/04/bolivia-informe-sobre-areas-protegidas-agosto-de-2017/>.

S.a. (2016). Bolivia - Emisiones de CO<sub>2</sub>. *En Bolivia se incrementan las emisiones de CO<sub>2</sub>* [en línea]. [Fecha de consulta: 18 abril 2018]. Disponible en: <https://www.datosmacro.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/bolivia>.

Sánchez, L. (2012). *La importancia de la biodiversidad en Bolivia: Proteger y conservar es un deber*. Cepaoruro [en línea]. [Fecha de consulta: 26 febrero 2018]. Disponible en: [http://www.ceptaoruro.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=920:la-importancia-de-la-biodiversidad-en-bolivia-proteger-y-conservar-es-un-deber-19-07-12&catid=18:educacion-ambiental-e-intercultural&Itemid=45](http://www.ceptaoruro.org/index.php?option=com_content&view=article&id=920:la-importancia-de-la-biodiversidad-en-bolivia-proteger-y-conservar-es-un-deber-19-07-12&catid=18:educacion-ambiental-e-intercultural&Itemid=45).

Schmeling, M. (2016). *Mapa en relieve sombreado con las principales zonas urbanas. Bolivia* [en línea]. [Fecha de consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en: [https://cz.123rf.com/photo\\_10757591\\_bolivia-shaded-relief-map-with-major-urban-areas-surrounding-territory-greied-out-colored-according-.html?fromid=b2pUN09weW9BaGZtZXF3eDVRdU5qUT09](https://cz.123rf.com/photo_10757591_bolivia-shaded-relief-map-with-major-urban-areas-surrounding-territory-greied-out-colored-according-.html?fromid=b2pUN09weW9BaGZtZXF3eDVRdU5qUT09).

Varshney, K. R.; Chen, G. H.; Abelson, B.; Nowocin, K.; Sakhrani, V.; Xu, L.; and Spatocco, B. L. (2015). Targeting villages for rural development using satellite image analysis. *Big Data* 3(1):41–53.

UDAPE (2015). Objetivos del Desarrollo del Milenio en Bolivia. *Octavo informe de progreso 2015* [en línea]. [Fecha de consulta: 11 junio 2018]. Disponible en: [http://www.udape.gob.bo/portales\\_html/ODM/Documentos/InfProgreso/8vo Informe de progreso.pdf](http://www.udape.gob.bo/portales_html/ODM/Documentos/InfProgreso/8vo Informe de progreso.pdf).

Xie, M., Jean, N., Burke, M., Lobell, D., & Ermon, S. (2016), Transfer Learning from Deep Features for Remote Sensing and Poverty Mapping. *In Proc. 30<sup>th</sup> AAAI Conference on Artificial Intelligence*. arXiv:1510.00098 [cs.CV].

World Commission on Environment and Development (1987), *Our Common Future*. New York: Oxford University Press.

### **Webgrafía**

[http://recursosnaturalsbolivia.blogspot.com.es/2011/05/introduccio-la-geografia-fisica-de\\_25.html](http://recursosnaturalsbolivia.blogspot.com.es/2011/05/introduccio-la-geografia-fisica-de_25.html)

<http://www.elmundo.es/ciencia/2014/07/11/53bd2ab222601db2118b458c.html>

<http://www.fndr.gob.bo/es/bolivia>

[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282014000300003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282014000300003&script=sci_arttext)

[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1605-25282014000300003](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282014000300003)

<http://www.tysmagazine.com/la-iluminacion-nocturna-como-mecanismo-de-analisis-demografico/>

[https://issuu.com/erlandx/docs/ciencias\\_sociales\\_y\\_tic](https://issuu.com/erlandx/docs/ciencias_sociales_y_tic)

[https://www.elespanol.com/ciencia/investigacion/20160818/148735730\\_0.html](https://www.elespanol.com/ciencia/investigacion/20160818/148735730_0.html)

<https://www.ine.gob.bo/index.php/notas-de-prensa-y-monitoreo/itemlist/tag/PIB>

[https://www.researchgate.net/publication/321542445\\_Simulacion\\_de\\_Trayectorias\\_de\\_Crecimiento\\_Poblacional\\_en\\_Colombia\\_a\\_Partir\\_de\\_Imagenes\\_Satelitales\\_Nocturnas\\_DMSP-OLS](https://www.researchgate.net/publication/321542445_Simulacion_de_Trayectorias_de_Crecimiento_Poblacional_en_Colombia_a_Partir_de_Imagenes_Satelitales_Nocturnas_DMSP-OLS)

[https://www.sib.gov.ar/archivos/Lizarraga\\_focos\\_0313.pdf](https://www.sib.gov.ar/archivos/Lizarraga_focos_0313.pdf)

## **8. Anexos**



## **Anexo I. Indicadores de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio**

### **Objetivo 1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre**

- Porcentaje de la población en pobreza extrema
- Brecha de pobreza externa
- Participación del 20% más pobre en el ingreso nacional
- Porcentaje de la población en pobreza moderada
- Tasa de crecimiento del PIB por persona empleada
- Relación empleo-población
- Proporción de la población ocupada con ingresos inferiores a la línea de pobreza externa
- Proporción de la población ocupada que trabaja por cuenta propia o en una empresa familiar
- Porcentaje de niños menores de 3 años con desnutrición crónica
- Porcentaje de niños menores de 5 años con desnutrición global

### **Objetivo 2. Lograr la enseñanza primaria universal**

- Tasa de cobertura neta del nivel primario
- Tasa de término a 8° de primaria
- Tasa de alfabetismo de la población de 15 a 24 años

### **Objetivo 3. Promover la equidad de género y la autonomía de la mujer**

- Brecha de género en la tasa de término a 8° de primaria
- Brecha de género en la tasa de término a 4° de secundaria
- Ratio de mujeres a hombres alfabetos en la población de 15 a 24 años
- Porcentaje de mujeres entre los empleados asalariados en el sector no agrícola
- Proporción de puestos ocupados por mujeres en el Parlamento Nacional
- Proporción de puestos ocupados por mujeres en Consejos Municipales

### **Objetivo 4. Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años**

- Tasa de mortalidad en niños menores de cinco años (por mil nacidos vivos)
- Tasa de mortalidad infantil (por mil nacidos vivos)
- Cobertura de vacunación con tercera dosis de Pentavalente en menores de un año

### **Objetivo 5. Mejorar la salud materna**

- Razón de mortalidad materna (muertas por 100 mil nacidos vivos)
- Porcentaje de partos atendidos por personal de salud calificado
- Tasa de uso de anticonceptivos
- Tasa de natalidad entre las adolescentes
- Cobertura de atención prenatal
- Necesidades insatisfechas en materia de planificación familiar

#### **Objetivo 6. Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades**

- Prevalencia de SIDA por millón de habitantes
- Prevalencia de VIH/SIDA entre las personas de 15 a 24 años
- Índice de parasitosis anual de la malaria (IPA) por 1000 habitantes
- Porcentaje de municipios con tasa de infestación de Chagas mayor a 3%
- Porcentaje de pacientes con tuberculosis curados del total de notificados

#### **Objetivo 7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente**

- Porcentaje de superficie nacional cubierta por bosques
- Superficie nacional ocupada por Áreas Protegidas (millones de hectáreas)
- Consumo de clorofluorocarburos que agotan la capa de ozono (TM PAO)
- Porcentaje de la población con acceso sostenible a agua potable
- Porcentaje de población con acceso a servicios de saneamiento básico

#### **Objetivo 8. Fomentar una alianza mundial para el desarrollo**

- Porcentaje de las exportaciones libres de aranceles admitidas por países desarrollados
- Asistencia Oficial para el Desarrollo (AOD) como porcentaje del ingreso de los países donantes
- Servicio de la deuda externa pública como porcentaje de las exportaciones
- Porcentaje de la población con línea de teléfono fija y móvil
- Porcentaje de hogares con acceso a internet, dentro o fuera del hogar, en zonas urbanas y rurales

## Anexo II Necesidades básicas insatisfechas (NBI)

Estadísticas sobre la pobreza asociada a un estado de necesidad, carencia o privación de los bienes y servicios que determinan la satisfacción de las necesidades básicas de una persona o un hogar; específicamente, se evalúan condiciones de infraestructura de la vivienda, insumos energéticos (acceso a electricidad y combustible para cocinar), niveles educativos y atención de salud de la población. Estos aspectos representan una medida de la pobreza estructural.

Componentes del índice de Necesidades Básicas Insatisfechas de Bolivia (censo 2012)						
Departamento	VIVIENDA Materiales de construcción	VIVIENDA Espacio insuficiente	SERVICIOS E INSUMOS ENERGÉTICOS Inadecuados	SERVICIOS E INSUMOS ENERGÉTICOS. Inadecuados	Insuficiencia en educación	Inadecuada atención en salud
BOLIVIA	31,0	64,8	43,6	27,3	42,9	25,3
Chuquisaca	39,8	64,4	49,3	45,4	58,3	21,3
La Paz	34,2	55,9	41,6	27,3	38,9	33,3
Cochabamba	28,9	62,8	44,3	25,4	46,2	24,8
Oruro	32,5	60,8	52,4	29,5	36,1	27,8
Potosí	47,3	60,1	60,9	49,3	57,6	31,1
Tarija	17,6	65,7	29,4	24,1	49,3	13,0
Santa Cruz	19,4	74,4	35,2	15,3	37,6	19,3
Beni	59,3	81,3	63,8	37,3	39,8	20,4
Pando	38,1	80,4	70,6	49,4	41,2	20,1

Fuente: Instituto Nacional de Estadística - Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE) <https://www.ine.gob.bo/index.php/podreza-desarrollo/introduccion>

### Anexo III Línea de pobreza

Estadísticas de pobreza basadas en el enfoque de la medición del bienestar basado en el ingreso, por lo que la pobreza se reduce a una cuantía monetaria: el ingreso y su capacidad adquisitiva. A partir del método de líneas de pobreza se considera pobres a las personas cuyo ingreso no es suficiente para mantener un nivel de vida considerado adecuado, aspecto relacionado a la pobreza coyuntural

INDICADORES DE DISTRIBUCIÓN DEL INGRESO PER CÁPITA MENSUAL						
Descripción	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Índice de GINI						
Bolivia	0,47	0,47	0,48	0,49	0,47	0,47
Área Urbana	0,41	0,42	0,42	0,44	0,42	0,41
Área Rural	0,54	0,55	0,53	0,57	0,52	0,55
Razón de percentil de la distribución de ingresos (en %)						
Percentil 90 / Percentil 10	11,78	13,39	11,92	12,07	10,7	13,23
Percentil 90 / Percentil 50	2,90	2,87	2,88	2,97	2,82	2,87
Percentil 10 / Percentil 50	0,25	0,21	0,24	0,25	0,26	0,22
Percentil 75 / Percentil 25	3,19	3,36	3,33	3,19	3,21	3,39

Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

Encuestas de mejoramiento de condiciones de vida (MECOVI, 1999 - 2002), encuesta de hogares 2005 - 2016

Notas:

- (1) No se calcularon estos indicadores para la Encuesta Continua a Hogares 2003 - 2004, por tanto, no existe información para ese período.
- (2) No se realizó la Encuesta de Hogares 2010.
- (3) No se calcularon estos indicadores para la Encuesta Continua a Hogares 2003 - 2004, por tanto, no existe información para ese período.
- (4) A partir de la Encuesta de Hogares 2011, las estimaciones fueron realizadas con los factores de expansión calculados en base a las proyecciones de población basada en el Censo 2012.

## Anexo III Actividad económica

ACTIVIDAD ECONÓMICA	PIB REAL (En miles de bolivianos de 1990)				PIB NOMINAL (En miles de bolivianos)	
	2016	2017	Variación porcentual	Inciden- cia porcentual	2017	Participación porcentual
<b>PRODUCTO INTERNO BRUTO (A precios de mercado)</b>	<b>44.374.306</b>	<b>46.235.900</b>	<b>4,20</b>	<b>4,20</b>	<b>259.184.717</b>	<b>100,00</b>
Derechos s/Importaciones, IVA n.d., IT y otros Imp. Indirectos	5.433.105	5.669.231	4,35	0,53	45.930.360	17,72
<b>PRODUCTO INTERNO BRUTO (A precios básicos)</b>	<b>38.941.201</b>	<b>40.566.669</b>	<b>4,17</b>	<b>3,66</b>	<b>213.254.358</b>	<b>82,28</b>
1. Agricultura, Silvicultura, Caza y Pesca	5.212.009	5.608.048	7,60	0,89	30.037.788	11,59
2. Extracción de Minas y Canteras	4.965.421	4.935.360	(0,61)	(0,07)	27.926.250	10,77
- Petróleo Crudo y Gas Natural	2.736.991	2.671.612	(2,39)	(0,15)	8.951.212	3,45
- Minerales Metálicos y no Metálicos	2.228.429	2.263.748	1,58	0,08	18.975.038	7,32
3. Industrias Manufactureras	7.311.665	7.551.997	3,29	0,54	27.197.570	10,49
4. Electricidad, Gas y Agua	938.274	976.214	4,04	0,09	5.546.199	2,14
5. Construcción	1.790.125	1.879.426	4,99	0,20	7.676.924	2,96
6. Comercio	3.379.166	3.551.171	5,09	0,39	18.511.253	7,14
7. Transporte, Almacenamiento y Comunicaciones	4.938.463	5.195.742	5,21	0,58	24.082.261	9,29
8. Establecimientos Financieros, Seguros, Inmuebles y Servicios a las Empresas	5.537.153	5.803.494	4,81	0,60	26.837.094	10,35
9. Servicios Comunales, Sociales, Personales y Domésticos	1.640.052	1.706.618	4,06	0,15	10.655.219	4,11
10. Restaurantes y Hoteles	1.056.674	1.110.374	5,08	0,12	6.136.028	2,37
11. Servicios de la Administración Pública	4.402.795	4.612.669	4,77	0,47	40.099.213	15,47
Servicios Bancarios Imputados	(2.230.595)	(2.364.444)	6,00	(0,30)	(11.451.441)	(4,42)

Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Fuente: <https://www.ine.gob.bo/index.php/notas-de-prensa-y-monitoreo/itemlist/tag/PIB>

#### Anexo IV Población pobre a nivel municipal

Listado de municipios de Bolivia ordenados de forma decreciente por el porcentaje de población pobre residente en el municipio. Cada uno de los diferentes colores que se observan (9) corresponden a cada uno de los departamentos de Bolivia.

	Departamento	Municipio	Población pobre (%)
1	La Paz	Ayata	98
2	Cochabamba	Tacopaya	96
3	Cochabamba	Arque	96
4	La Paz	Callapa	95
5	Potosí	S.P. de Buena Vista	95
6	Pando	San Pedro	95
7	La Paz	Aucapata	95
8	Potosí	Tacobamba	94
9	Potosí	Tinguipaya	94
10	Cochabamba	Tapacarí	93
11	La Paz	Yaco	93
12	La Paz	Quiabaya	93
13	Chuquisaca	Poroma	92
14	Potosí	Arampampa	91
15	Potosí	Colquechaca	91
16	Potosí	Ravelo	91
17	Potosí	Villa de Sacaca	90
18	Cochabamba	Bolívar	90
19	La Paz	Chacarilla	89
20	La Paz	Charazani	89
21	Potosí	Pocoata	89
22	Chuquisaca	Presto	88
23	La Paz	Chuma	88
24	Potosí	Ocurí	88
25	La Paz	Mocomoco	88
26	Potosí	Caripuyo	88
27	Potosí	Toro Toro	88
28	Cochabamba	Alalay	87
29	La Paz	Waldo Ballivian	86
30	La Paz	Apolo	86
31	La Paz	San Pedro Cuarahuara	86
32	Oruro	Yunguyo de Litoral	86
33	La Paz	Malla	85
34	Cochabamba	Independencia	85
35	Chuquisaca	Tarvita	84
36	Pando	Ingavi	84
37	La Paz	Inquisivi	84
38	La Paz	Ichoca	83

39	La Paz	Combaya	83
40	Pando	Villa Nueva (Loma Alta)	83
41	Cochabamba	Morochata	82
42	Potosí	Acasio	82
43	La Paz	Curva	82
44	Oruro	Carangas	82
45	Oruro	El Choro	80
46	La Paz	Ayo Ayo	80
47	La Paz	Palca	79
48	La Paz	Puerto Acosta	79
49	Chuquisaca	Azurduy	79
50	Pando	San Lorenzo	78
51	La Paz	Laja	78
52	La Paz	Colquenchu	77
53	Cochabamba	Vila Vila	76
54	Oruro	Corque	76
55	Cochabamba	Anzaldo	75
56	La Paz	San Andrés de Machaca	75
57	Oruro	Cruz de Machacamarca	75
58	La Paz	Colquiri	74
59	La Paz	Comanche	74
60	Chuquisaca	Incahuasi	72
61	La Paz	Pelechuco	72
62	La Paz	Pucarani	72
63	Potosí	San Antonio de Esmoruco	72
64	La Paz	Calamarca	72
65	Chuquisaca	San Lucas	72
66	La Paz	Puerto Pérez	72
67	La Paz	Taraco	71
68	La Paz	Tiahuanacu	71
69	Oruro	San Pedro de Totora	71
70	Oruro	Toledo	71
71	La Paz	Ancoraimas	71
72	Chuquisaca	Icla	70
73	La Paz	Jesús de Machaca	69
74	La Paz	Sica Sica	69
75	La Paz	Sapahaqui	69
76	Chuquisaca	Sopachuy	68
77	Oruro	Santiago de Andamarca	68
78	La Paz	Calacoto	68
79	La Paz	Papel Pampa	68
80	Cochabamba	Totora	68
81	La Paz	Sorata	67
82	Potosí	Chayanta	67
83	La Paz	Pto, Carabuco	67

84	Chuquisaca	Huacaya	65
85	La Paz	Umala	65
86	Chuquisaca	Mojocoya	63
87	Tarija	Yunchará	63
88	La Paz	Achocalla	63
89	La Paz	Charaña	63
90	Cochabamba	Pojo	62
91	Chuquisaca	Tarabuco	61
92	Oruro	Huayllamarca	61
93	Oruro	Pampa Aullagas	61
94	Chuquisaca	Culpina	61
95	La Paz	Tacacoma	61
96	Oruro	Salinas de García Mendoza	60
97	Oruro	Huari	60
98	Potosí	Uncía	60
99	La Paz	Tito Yupanqui	60
100	Oruro	Challapata	60
101	Potosí	San Pablo de Lipez	59
102	La Paz	Batallas	59
103	Pando	Santa Rosa	59
104	Chuquisaca	Huacareta	58
105	Cochabamba	Sacabamba	58
106	La Paz	Caquiaviri	58
107	Cochabamba	Mizque	58
108	Pando	Puerto Gonzales Moreno	58
109	La Paz	Nazacara de Pacajes	57
110	Santa Cruz	Gutiérrez	57
111	Cochabamba	Aiquile	56
112	Cochabamba	Sicaya	56
113	Potosí	Betanzos	56
114	Pando	El Sena	55
115	La Paz	Cairoma	54
116	Chuquisaca	Tomina	54
117	Cochabamba	Pasorapa	54
118	La Paz	Patacamaya	53
119	Potosí	Urmiri	53
120	La Paz	Santiago de Machaca	53
121	La Paz	Coro Coro	53
122	La Paz	Teoponte	53
123	Tarija	Entre Ríos	53
124	Beni	Loreto	53
125	Chuquisaca	El Villar	53
126	Chuquisaca	Villa Serrano	52
127	La Paz	Achacachi	52
128	Potosí	Puna	52



129	La Paz	La Asunta	51
130	La Paz	Catacora	51
131	Chuquisaca	Muyupampa	50
132	Oruro	Escara	50
133	Oruro	Curahuara de Carangas	49
134	Oruro	Caracollo	49
135	Cochabamba	Vacas	49
136	Beni	San Borja	48
137	Pando	Bella Flor	48
138	Beni	San Ignacio	48
139	Oruro	Chipaya	47
140	Oruro	Belén de Andamarca	47
141	La Paz	Guaqui	47
142	Potosí	Tomave	46
143	Potosí	Vitichi	46
144	Chuquisaca	Villa Abecia	46
145	La Paz	Luribay	46
146	Potosí	Chaquí	46
147	La Paz	Caranavi	46
148	Oruro	Choque Cota	44
149	Oruro	Sabaya	44
150	La Paz	Cajuata	44
151	Oruro	Todos Santos	43
152	Tarija	Padcaya	43
153	La Paz	Mecapaca	43
154	Oruro	Soracachi	43
155	Pando	Santos Mercado	43
156	Santa Cruz	San Antonio de Lomerío	42
157	Chuquisaca	Padilla	42
158	Oruro	Turco	42
159	Chuquisaca	Villa Alcalá	42
160	Chuquisaca	Zudañez	41
161	Santa Cruz	Urubichá	41
162	Beni	Exaltación	40
163	Oruro	Antequera	40
164	Pando	Bolpebra	40
165	Cochabamba	Pocona	40
166	Tarija	El Puente	40
167	Potosí	Tahua	39
168	Santa Cruz	Lagunillas	39
169	La Paz	Ixiamas	39
170	Chuquisaca	Monteagudo	39
171	Pando	Filadelfia	38
172	Potosí	San Agustín	38
173	La Paz	Villa Libertad Licoma	38

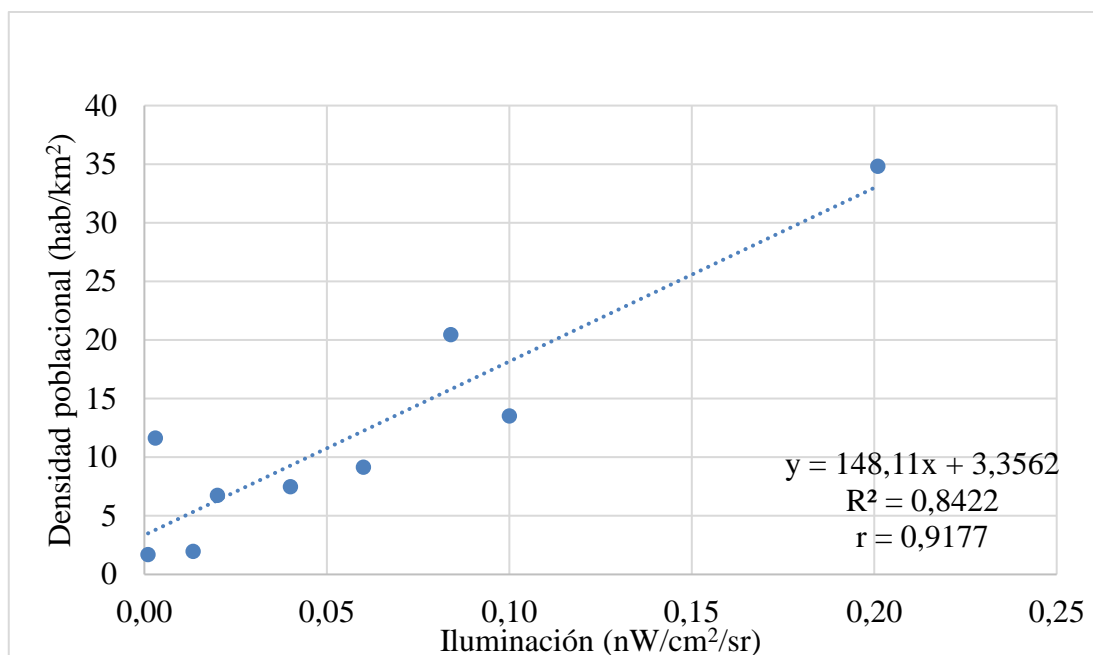
174	Oruro	Eucaliptus	38
175	Tarija	Caraparí	38
176	Santa Cruz	Concepción	38
177	La Paz	Quime	38
178	La Paz	Collana	38
179	Oruro	Esmeralda	38
180	Potosí	Cotagaita	38
181	La Paz	Viacha	37
182	La Paz	San Pedro de Tiquina	37
183	Beni	San Andrés	37
184	Pando	Puerto Rico	37
185	Cochabamba	Villa Tunari	35
186	La Paz	Irupana	35
187	La Paz	Mapiri	35
188	Santa Cruz	San Javier	35
189	Pando	Nueva Esperanza	34
190	Tarija	Villa San Lorenzo	34
191	Cochabamba	Omereque	34
192	Santa Cruz	Santa Rosa del Sara	33
193	Beni	Riberalta	33
194	Santa Cruz	Pucara	33
195	La Paz	Guanay	32
196	Santa Cruz	Cuevo	32
197	Cochabamba	Capinota	32
198	Santa Cruz	Ascensión de Guarayos	32
199	Potosí	Porco	32
200	Chuquisaca	Camargo	32
201	La Paz	Palos Blancos	32
202	La Paz	Copacabana	31
203	Oruro	Poopó	30
204	Potosí	Caiza D	30
205	Beni	San Javier	30
206	Santa Cruz	San Rafael	30
207	Santa Cruz	El Puente	30
208	Santa Cruz	Moro Moro	29
209	Beni	Reyes	29
210	Chuquisaca	Macharetí	28
211	Chuquisaca	Yamparáez	28
212	Beni	Rurrenabaque	28
213	Potosí	Colcha K	27
214	Santa Cruz	Comarapa	27
215	Santa Cruz	San Miguel de Velasco	27
216	Beni	Magdalena	27
217	Chuquisaca	Las Carretas	27
218	Oruro	Pazña	27

219	Cochabamba	Chimoré	27
220	Oruro	Quillacas	26
221	Santa Cruz	San Julián	26
222	Santa Cruz	Porongo	26
223	Cochabamba	Tarata	26
224	Cochabamba	Tiraque	25
225	Oruro	La Rivera	25
226	Santa Cruz	Boyube	24
227	Santa Cruz	San Ignacio de Velasco	24
228	Beni	Puerto Siles	24
229	Beni	Santa Rosa	23
230	Potosí	Uyuni	23
231	Tarija	Uriondo	23
232	Cochabamba	Cuchumuela	23
233	Cochabamba	Puerto Villaroel	23
234	Cochabamba	Colomi	22
235	Santa Cruz	Charagua	22
236	Santa Cruz	Saipina	21
237	Beni	San Joaquín	21
238	Cochabamba	Entre Ríos	21
239	Potosí	Yocalla	21
240	Santa Cruz	Carmen Rivero Torres	21
241	Potosí	Llallagua	21
242	La Paz	Coroico	20
243	Potosí	Mojinete	20
244	Santa Cruz	San Matías	20
245	Beni	Trinidad	18
246	Santa Cruz	Buena Vista	18
247	Santa Cruz	Postrer Valle	18
248	Santa Cruz	San Juan de Yapacani	18
249	Oruro	Coipasa	18
250	Beni	Santa Ana de Yacuma	18
251	Santa Cruz	Pampa Grande	18
252	Potosí	Tupiza	18
253	La Paz	San Buenaventura	18
254	La Paz	El Alto	18
255	La Paz	Desaguadero	17
256	Santa Cruz	San Ramón	17
257	Cochabamba	Sipe Sipe	17
258	Potosí	San Pedro de Quemes	17
259	La Paz	Yanacachi	16
260	Santa Cruz	Yapacaní	16
261	Cochabamba	Santivañez	15
262	Chuquisaca	Sucre	15
263	Santa Cruz	El Torno	15

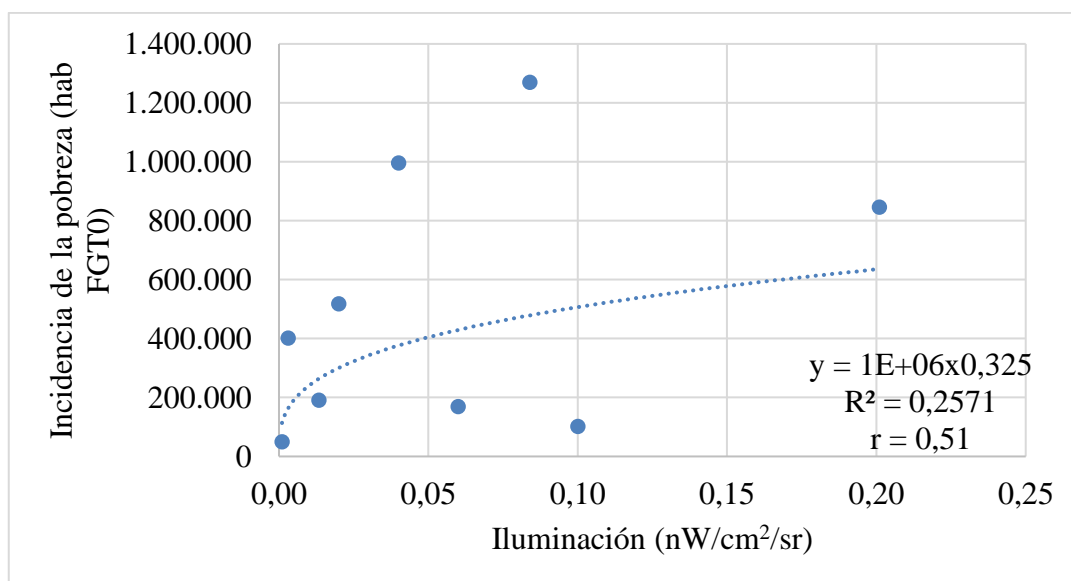
264	Santa Cruz	Quirusillas	15
265	Santa Cruz	Samaipata	15
266	La Paz	Coripata	15
267	Beni	San Ramón	15
268	Cochabamba	Villa Rivero	14
269	Cochabamba	Arani	14
270	Oruro	Huanuni	14
271	Santa Cruz	Fernández Alonso	14
272	Beni	Baures	14
273	Santa Cruz	Cabezas	14
274	Santa Cruz	Gral. Saavedra	13
275	Santa Cruz	Vallegrande	13
276	Beni	Huacaraje	13
277	Potosí	Potosí	13
278	Tarija	Villamontes	13
279	Santa Cruz	Mairana	12
280	Chuquisaca	Yotala	12
281	Santa Cruz	San Pedro	12
282	Cochabamba	Toko	12
283	Potosí	Villazón	11
284	Cochabamba	Tacachi	11
285	Cochabamba	Vinto	11
286	Oruro	Oruro	10
287	Pando	Porvenir	10
288	Santa Cruz	Okinawa Uno	10
289	Santa Cruz	Cuatro Cañadas	9
290	Santa Cruz	San Carlos	9
291	Cochabamba	Cochabamba	9
292	Santa Cruz	Portachuelo	9
293	Santa Cruz	Mineros	9
294	Santa Cruz	Trigal	9
295	La Paz	La Paz	8
296	Oruro	Machacamarca	8
297	Cochabamba	Arbieto	8
298	Beni	Guayaramerín	8
299	Santa Cruz	Warnes	8
300	La Paz	Chulumani	7
301	La Paz	Tipuani	7
302	Pando	Cobija	7
303	Potosí	Atocha	7
304	Tarija	Yacuiba	7
305	Cochabamba	San Benito	7
306	Tarija	Bermejo	7
307	Santa Cruz	Roboré	7
308	Santa Cruz	Camiri	7

309	Potosí	Llica	6
310	Cochabamba	Sacaba	6
311	Santa Cruz	Pailón	5
312	Cochabamba	Tiquipaya	5
313	Santa Cruz	La Guardia	5
314	Tarija	Tarija	5
315	Santa Cruz	San José de Chiquitos	4
316	Oruro	Huachacalla	3
317	Cochabamba	Cliza	3
318	Cochabamba	Punata	3
319	Cochabamba	Quillacollo	3
320	Cochabamba	Tolata	2
321	Santa Cruz	Colpa Belgica	2
322	Santa Cruz	Cotoca	2
323	Santa Cruz	Montero	2
324	Santa Cruz	Puerto Quijarro	2
325	Santa Cruz	Puerto Suarez	1
326	Santa Cruz	Santa Cruz de la Sierra	1
327	Cochabamba	Colcapirhua	1

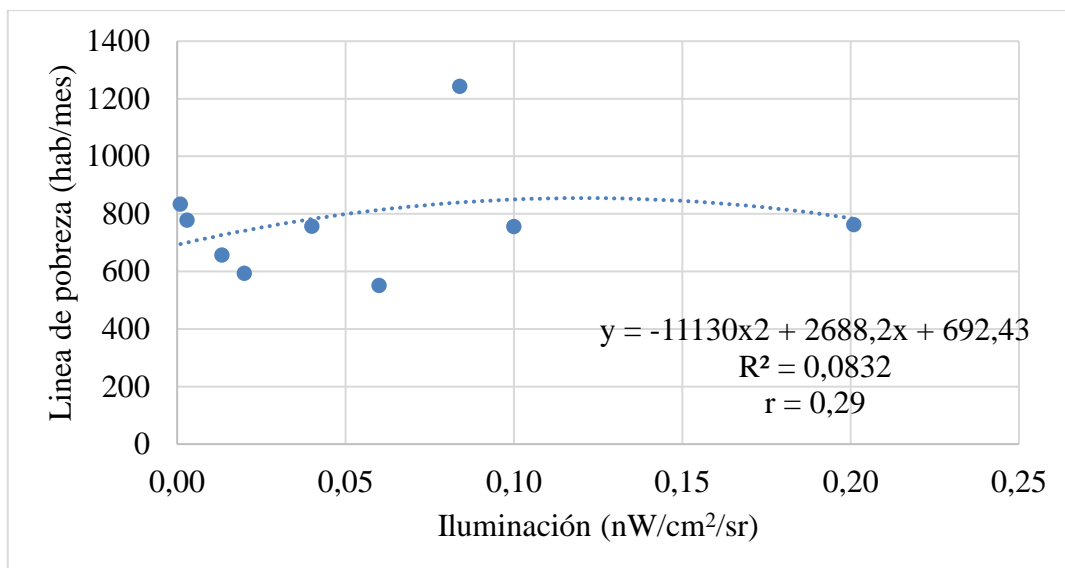
## Anexo V Correlaciones de los datos de iluminación con la información de Bolivia



Grafica de correlación de iluminación y densidad poblacional.

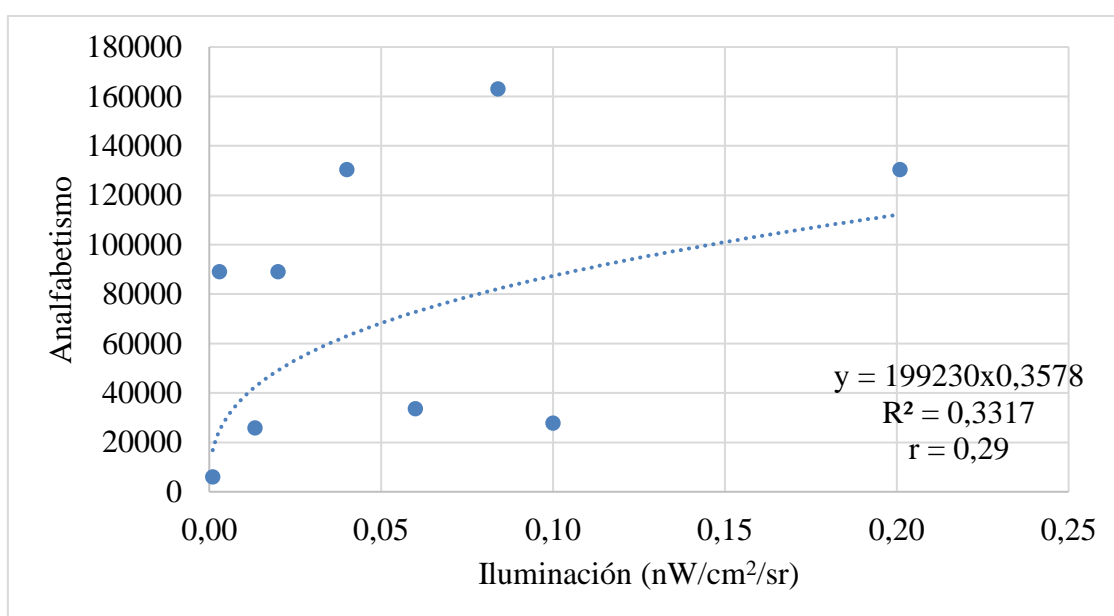


Grafica de correlación de iluminación y analfabetismo.

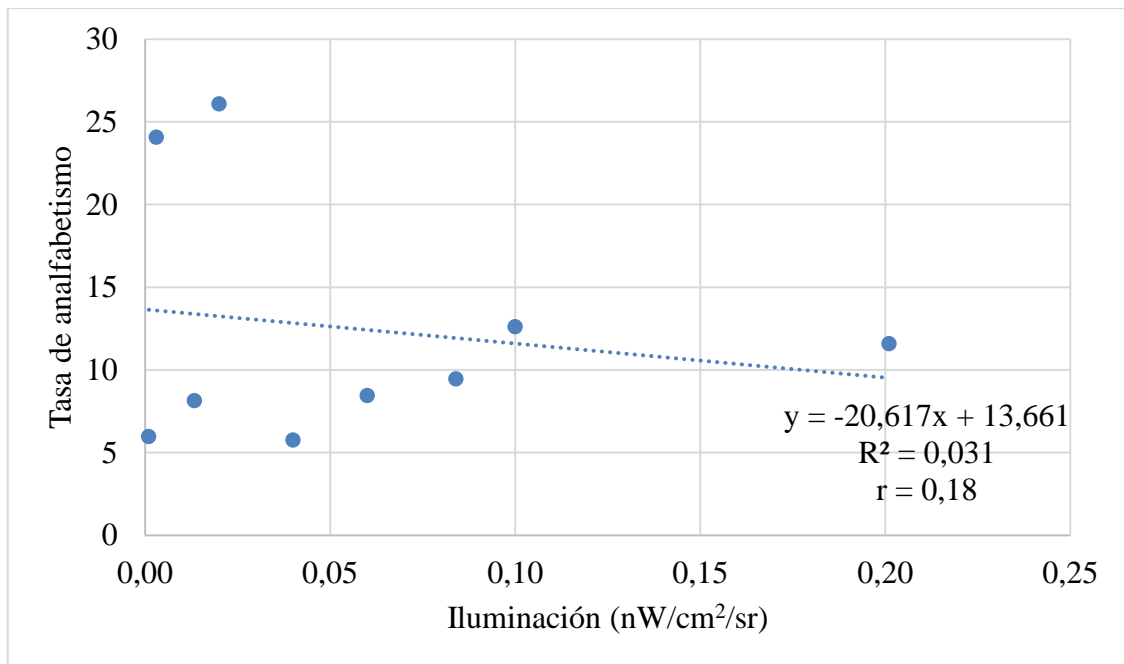


Grafica de correlación de iluminación y la línea de pobreza.

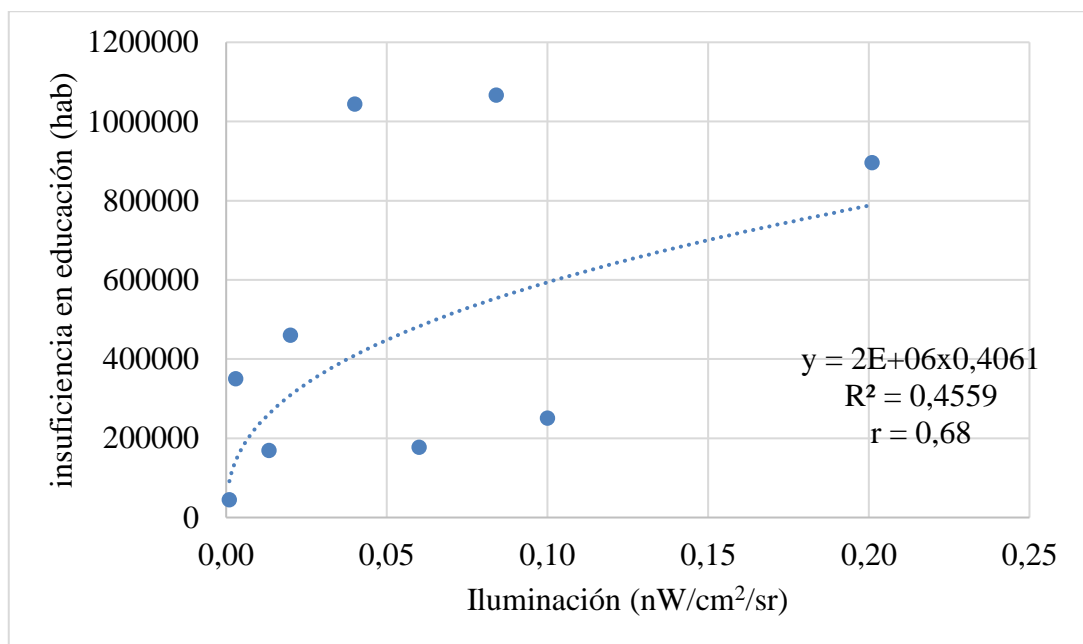
- Factores referentes a la educación en Bolivia



Grafica de correlación de iluminación y Analfabetismo

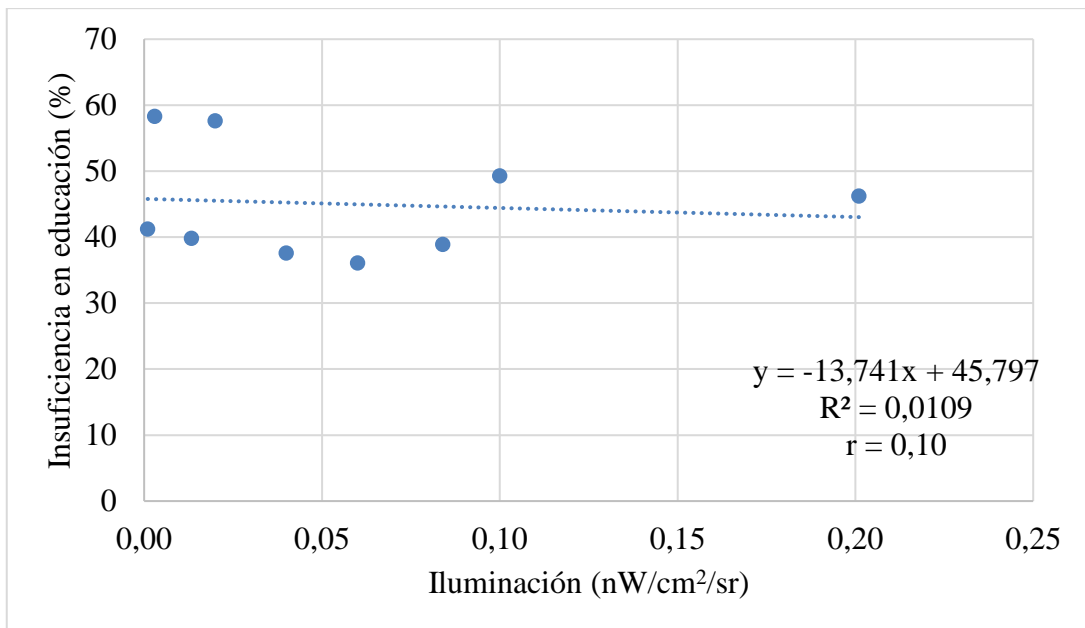


Grafica de correlación de iluminación y tasa de analfabetismo.



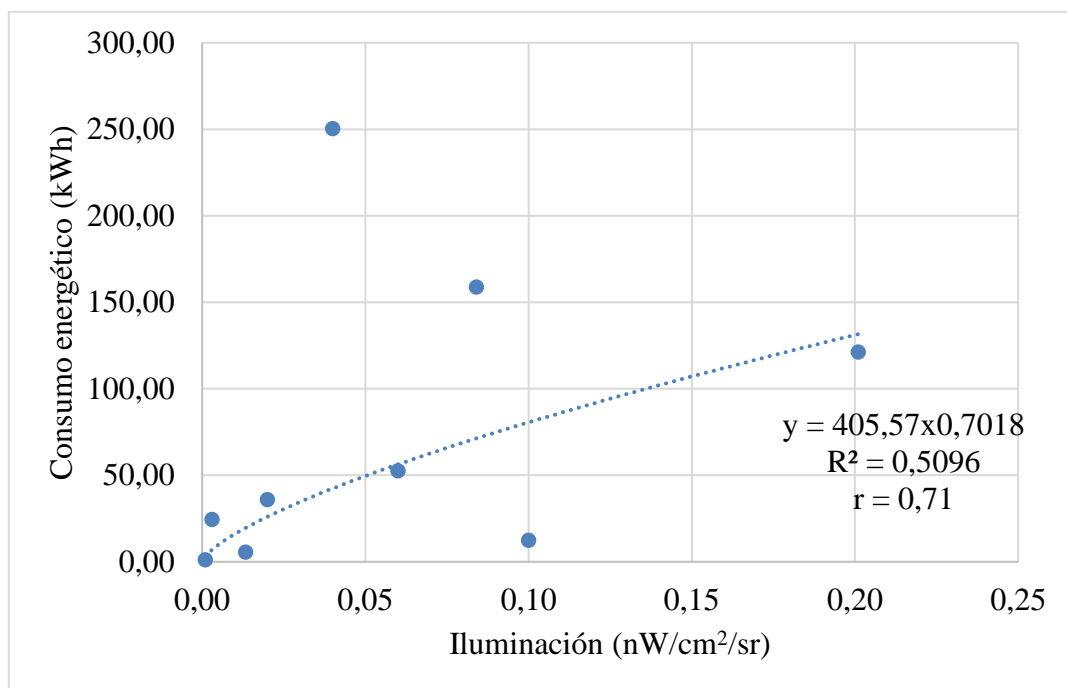
Grafica de correlación de iluminación e ineficiencia en educación (hab).



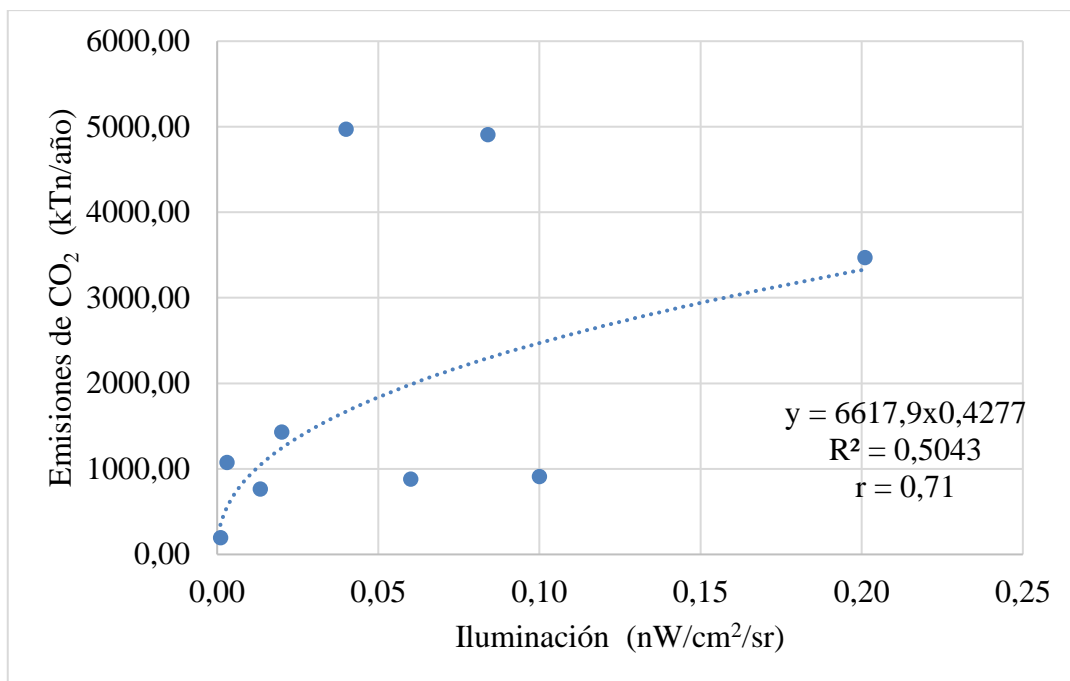


Grafica de correlación de iluminación e Insuficiencia en educación (%).

- Factores relacionados con la energía y la contaminación ambiental

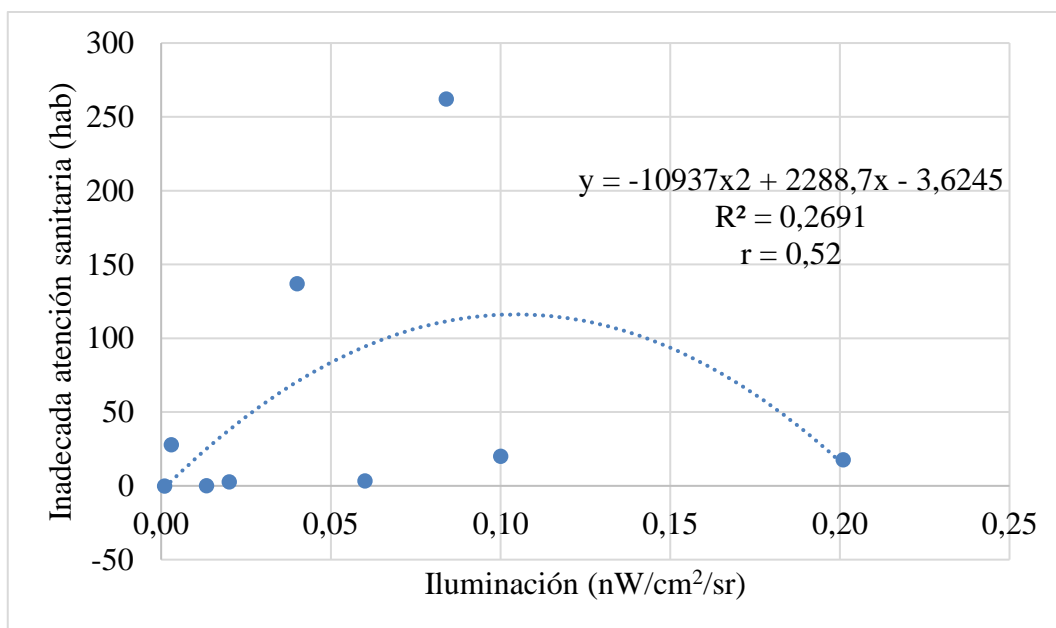


Grafica de correlación de iluminación y consumo energético.

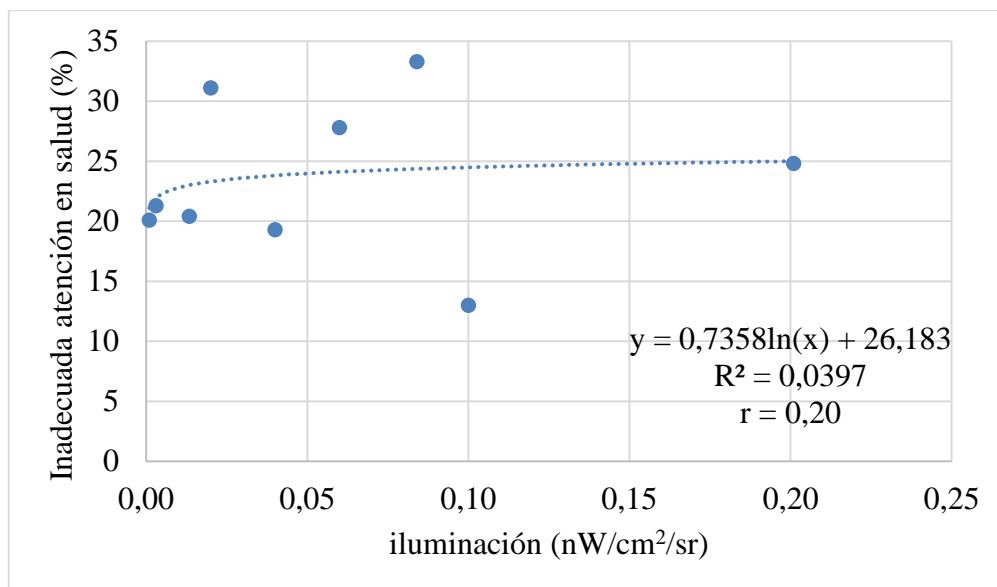


Grafica de Correlación de iluminación y emisiones de CO<sub>2</sub>.

- Correlaciones referentes a la salud y bienestar

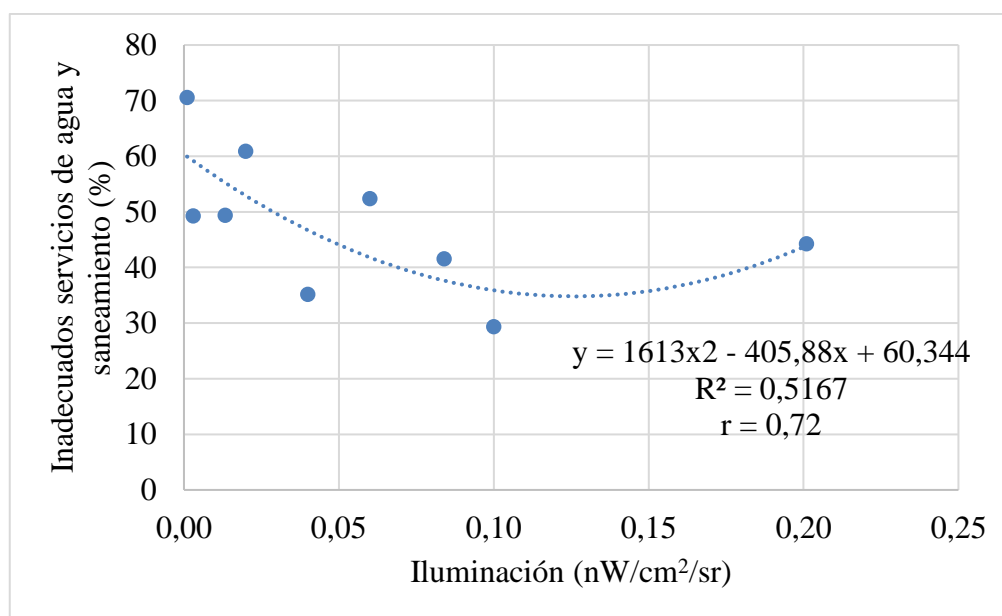


Grafica de correlación de iluminación e inadecuada atención sanitaria (hab).

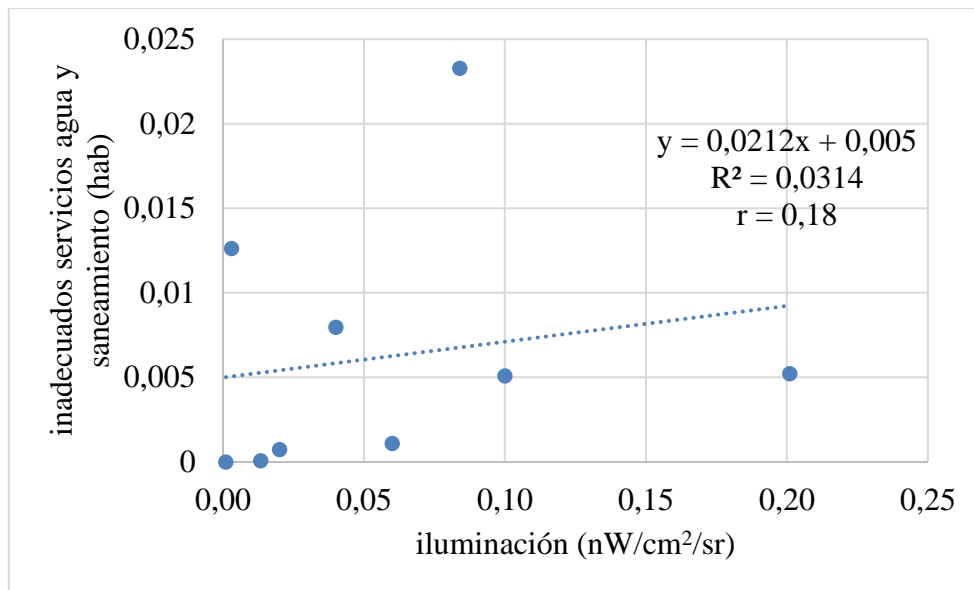


Grafica de correlación de iluminación e inadecuada atención sanitaria (%).

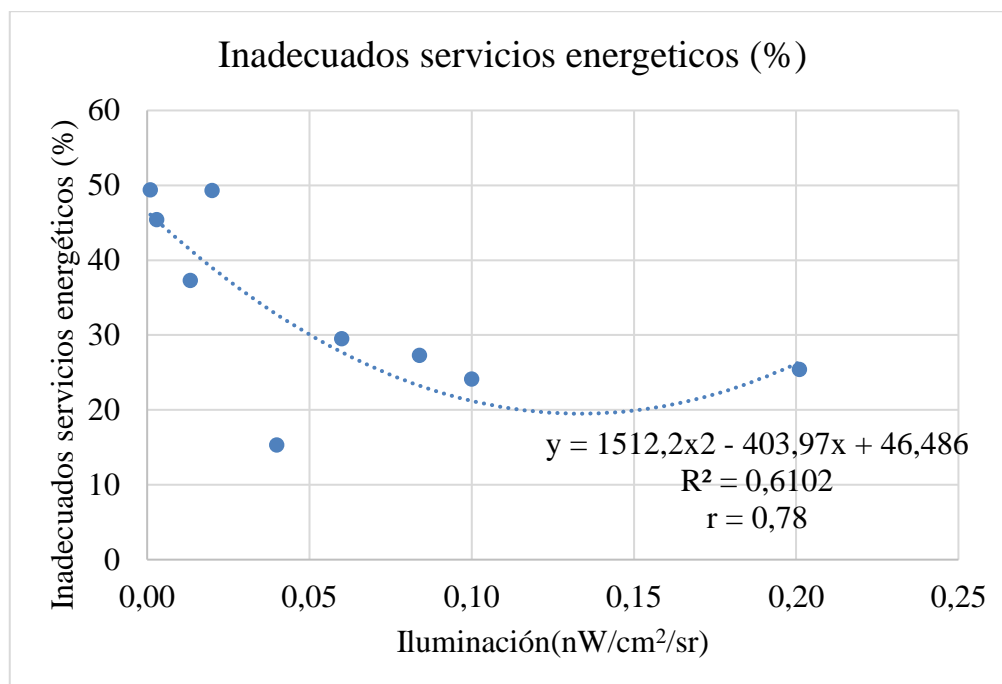
- Factores que influyen en la calidad del agua y saneamiento



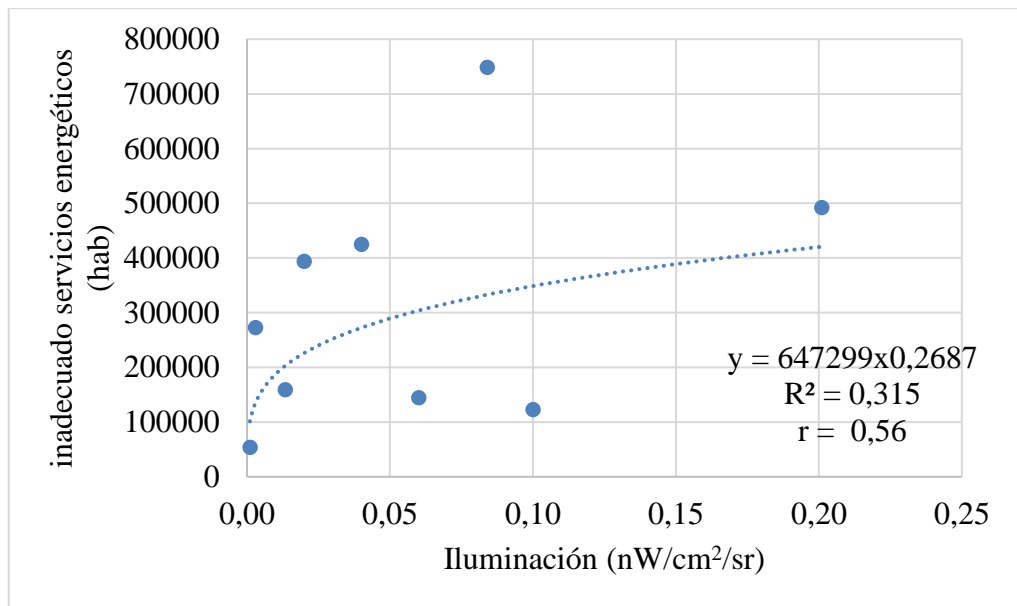
Grafica de correlación de iluminación e inadecuados servicios de agua y saneamiento



Grafica de correlación de iluminación e inadecuados servicios de agua y saneamiento.

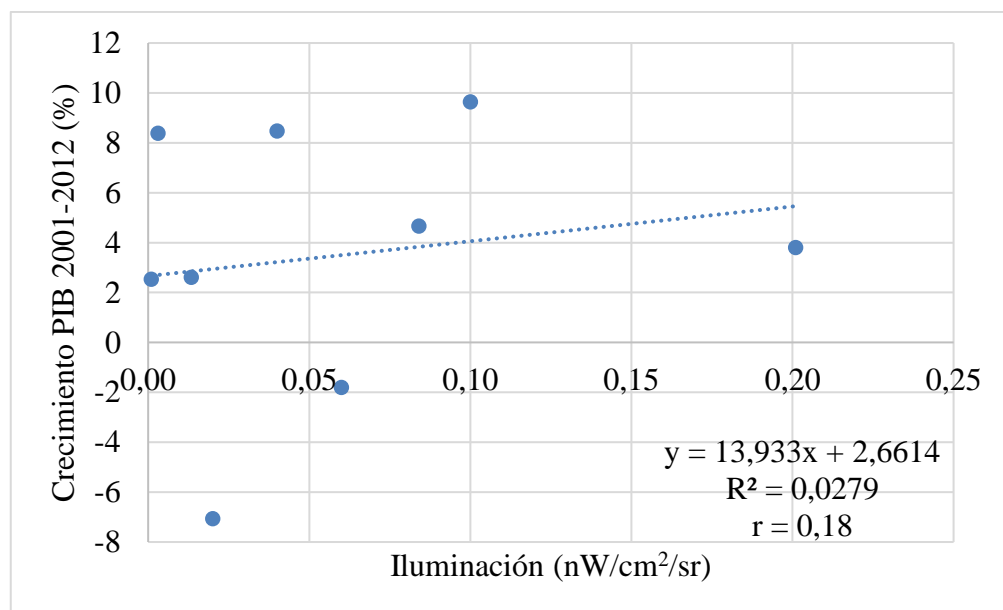


Grafica de correlación de iluminación e inadecuados servicios energéticos (%).

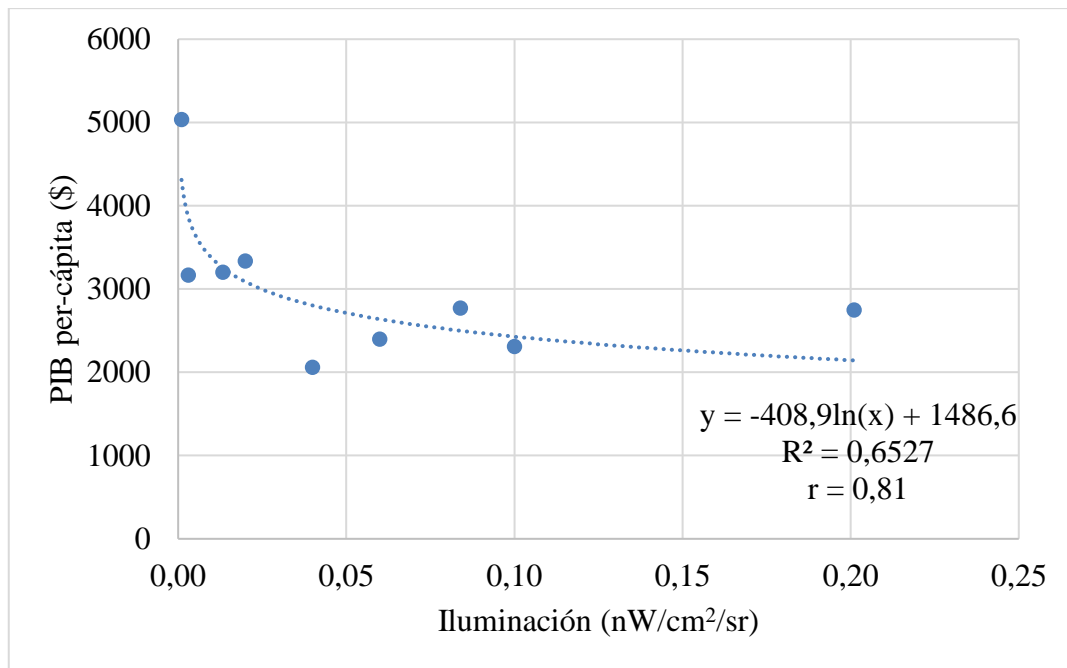


Grafica de correlación de iluminación e inadecuados servicios energéticos (hab).

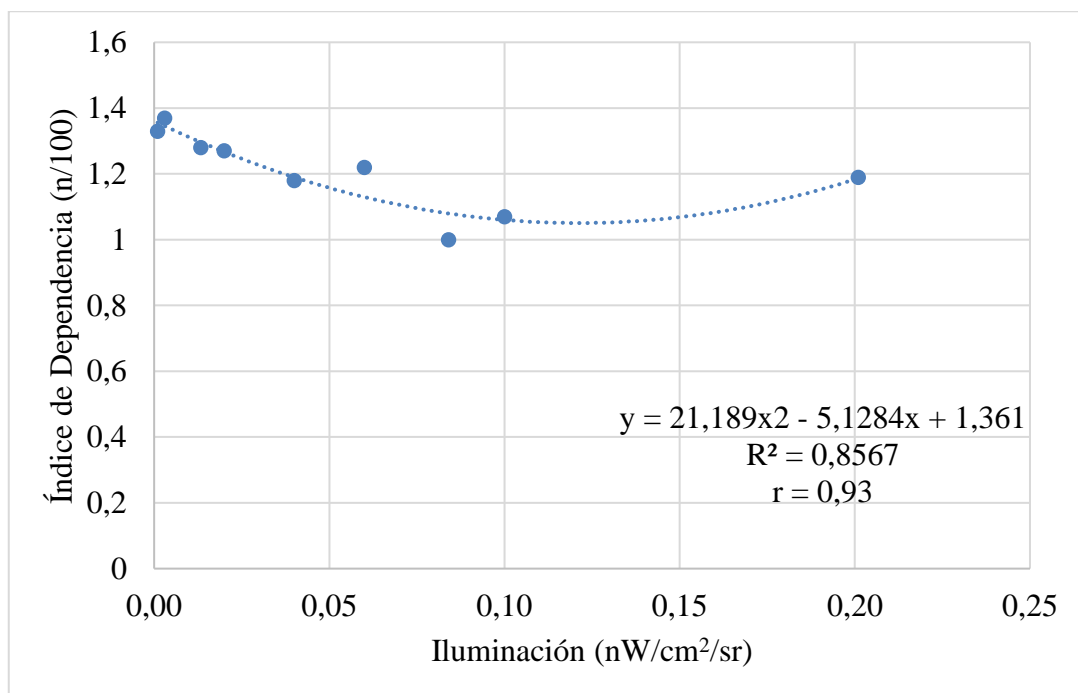
- Factores referentes en el crecimiento económico



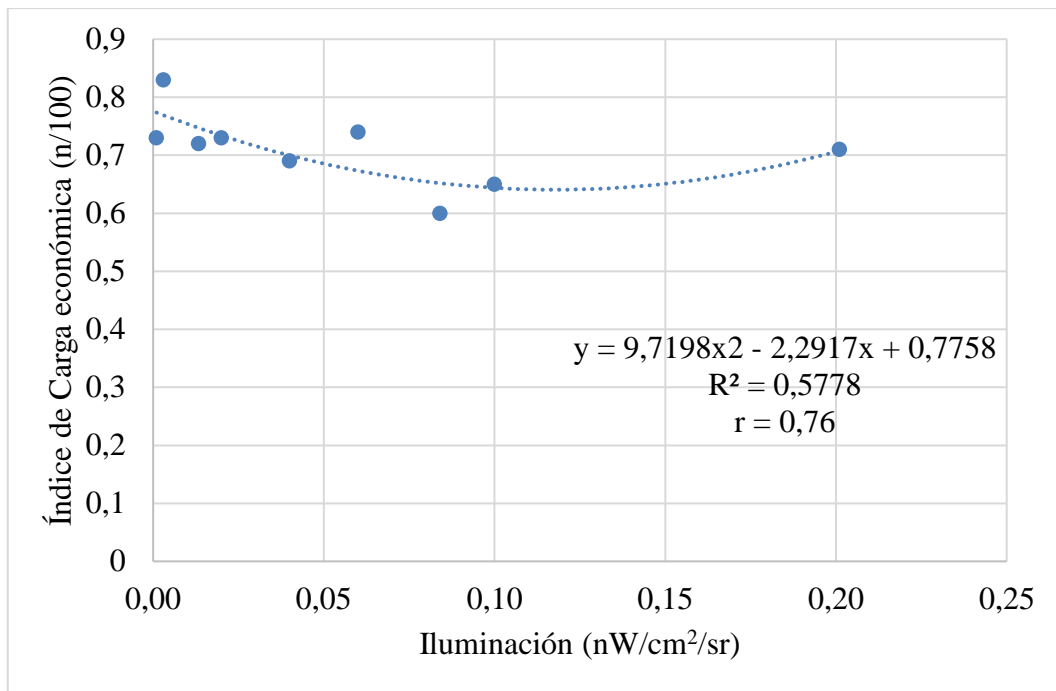
Grafica de iluminación y crecimiento del PIB 2001-2012 (%)



Grafica de iluminación y PIB per-cápita (\$)



Grafica de iluminación e índice de dependencia (n/100).



Grafica de iluminación e índice de carga económica (n/100).

## Anexo VI Glosario de indicadores

### Índice de pobreza humana

El índice de pobreza humana mide privaciones de 3 componentes reflejados en el IDH.

Los componentes son:

- Vida larga y saludable: es decir, que mide la vulnerabilidad de mortalidad a edad temprana, esta se mide a partir de la probabilidad de que al nacer no se llegue hasta los 40 años.
- Educación: medido a partir de la tasa de analfabetismo enfocado en la población adulta.
- Nivel de vida digno

### Índice de carga económica

Índice de carga económica mide el porcentaje de personas de la población que no es activa económicamente y por tanto que son dependientes de una persona activa económicamente. Es inversamente proporcional a la tasa global de participación, el índice de carga económica disminuye por efecto de la disminución de las personas inactivas. Para este índice se toman en cuenta a las personas de 14 años, las cuales son consideradas las personas más económicamente no activas (PNEA).

Se obtiene a partir de la división de la suma de porcentajes de personas económicamente inactivas entre las personas económicamente activa (PEA) multiplicado por 100.

$$ICE = ( PNEA / PEA ) * 100$$

Esto significa, que por cada 100 personas económicamente activas existen aproximadamente “n” personas económicamente inactivas.

### Índice de dependencia económica

La tasa de dependencia se define como la proporción de personas dependientes (personas menores de 16 años o mayores de 64) sobre la población en edad de trabajar (entre 16 y 64 años). Este solo es un valor comparativo de la población que se encuentra



en edad de trabajar y la población económicamente inactiva. Se calcula con la siguiente formula:

$$ID = \left( \frac{N1}{N2} \right) \times 100$$

Donde:

Índice de dependencia: ID

Población mayor de 65 años + población menor de 15 años: N1

Población entre 15 y 64 años: N2

Si el valor que resulta de esta operación es de 60, significa que por cada 100 personas en edad de trabajar hay 60 personas en edades inactivas. Se utiliza esta información en análisis sociales, demográficos y económicos.

### Índice de Desempeño Ambiental

Entre los años 2000 y 2005 se tenía el índice de sostenibilidad ambiental, pero a partir del 2006 se cambió por la EPI, que mide el desempeño de los objetivos ambientales, también se lo conoce como EPI (Environmental Performance Index), que se mide a partir de la Salud ambiental y la Vitalidad de los ecosistemas, el primero mide la protección de la salud humana ante el impacto de los daños ambientales y el segundo que mide la protección de los ecosistemas y la administración de los recursos.

Nacido a partir de las políticas ambientales que carecían del rigor cualitativo y científico. Además de cumplir el 7mo objetivo, uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), que consiste en el garantizar la sostenibilidad ambiental.

En este sentido, *“el EPI brinda a los tomadores de decisiones, funcionarios del gobierno y público en general; acceso a datos ambientales importantes, organizados de una manera que es fácilmente comprensible, útil y que impulsa la competencia productiva”* (Hsu et al., 2014, p. 1). También permite a las naciones comparar su desempeño con el de otros países.

Salud ambiental	Salud ambiental	Mortalidad infantil
	Calidad del aire	Calidad del aire en los hospitales Contaminación del aire – Exposición promedio a PM2,5 Contaminación del aire – Rebasamiento en PM2,5
	Agua y saneamiento	Acceso a agua potable Acceso a saneamiento
Vitalidad de los ecosistemas	Recursos hídricos	Tratamiento de aguas
	Agricultura	Subsidios agrícolas Regulación de pesticidas
	Bosques	Cambios en la cobertura forestal
	Pesca	Presión pesquera en la plataforma continental Stocks pesqueros
	Biodiversidad y hábitat	Áreas terrestres protegidas ponderadas por bioma nacional Áreas terrestres protegidas ponderadas por bioma global Áreas marinas protegidas Protección del hábitat crítico
	Clima y energía	Tendencia de la intensidad de carbono Tendencia de emisiones de CO <sub>2</sub> por kWh Acceso a la electricidad

## Índice de Desarrollo Humano

Indicador de desarrollo que se desarrolla anualmente por las Naciones Unidas, este indicador a diferencia de otros analiza la educación, salud y los ingresos económicos de la población de cada país. Los factores que toma en cuenta para el calculo son la vida saludable y larga, nivel de vida digno y conocimientos, por lo que influyen datos como la esperanza de vida se encuentre entre los 68 -76 años, tasa de mortalidad de 7,35 % y renta per cápita de 2.794 euros (caso Bolivia)

## Necesidades básicas insatisfechas

Estadísticas de pobreza asociados a un estado de necesidad, carencia o privación de los bienes y servicios que determinan la satisfacción de las necesidades básicas de una persona o un hogar, específicamente, se evalúan condiciones de infraestructura de la vivienda, insumos energéticos (acceso a electricidad y combustible para cocinar), niveles educativos y atención de salud de la población. Estos aspectos representan una medida de la pobreza estructural.

## Línea de pobreza e incidencia de pobreza

Se enfocan en medir el bienestar basado en el ingreso, por lo que la pobreza se reduce a una cuantía monetaria: el ingreso y su capacidad adquisitiva. A partir del método de líneas de pobreza se considera pobres a las personas cuyo ingreso no es suficiente para mantener un nivel de vida considerado adecuado, aspecto relacionado a la pobreza coyuntural.

Los datos se realizan en base a las encuestas de presupuestos familiares de 1990, encuestas EVI-FIS de 1997, encuesta de hogares Programa de Medición de Condiciones de vida 2006-2007 y las encuestas del Censo 2001 y 2012.

## Participación en el PIB

El PIB por departamento refleja como contribuye cada departamento en la producción de bienes y servicios de acuerdo a su especialidad productiva.

## Biota

Se considera biota al volumen de madera extraída y el volumen autorizado para productos maderables, con registros en la ABT (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierras).

## Residuos

Volumen de residuos sólidos que proceden de áreas públicas, industrias, hospitales y domiciliario, relacionando con registros procedentes de la administración del gobierno municipal de las capitales del país.

## Eventos adversos de origen natural

Información del número de eventos adversos de origen natural (inundaciones, heladas, sequías y otros), así como datos sobre la cantidad de familias damnificadas, que se cuantifican por el Viceministerio de Defensa Civil.

## Tierra y suelo

Superficies de aprovechamiento forestal, áreas protegidas y uso de suelos con base en registros administrativos de la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierras (ABT) y del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.